

étude

are.....

Bundesamt für Raumentwicklung
Office fédéral du développement territorial
Ufficio federale dello sviluppo territoriale
Federal Office for Spatial Development

Verifizierung von Prognose- methoden im Personenverkehr

Ergebnisse einer Vorher-/Nachher-
Untersuchung auf der Grundlage
eines netzbasierten Verkehrsmodells



Bundesamt für
Raumentwicklung
ARE

Auftraggeber
ARE-G
SBB

Bundesamt für Raumentwicklung
Division Personenverkehr



Schweizerische
Bundesbahnen
SBB

Auftragnehmer:

Milenko Vrtic	ETH, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT
Prof. Kay W. Axhausen	ETH, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT
Prof. Rico Maggi	Università della Svizzera italiana, Facoltà di Scienze economiche
Fabio Rossera	Università della Svizzera italiana, Facoltà di Scienze economiche

Projektbegleitung

Michael Arendt	Bundesamt für Raumentwicklung ARE
Thomas Schmid	SBB Personenverkehr

Produktion

Rudolf Menzi	Stabsstelle Information ARE
--------------	-----------------------------

Zitierweise

Vrtic, M., K.W. Axhausen, R.Maggi und F. Rossera (2003) Verifizierung von Prognosemethoden im Personenverkehr, im Auftrag der SBB und dem Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), IVT, ETH Zürich und USI Lugano, Zürich und Lugano.

Bezugsquelle

ARE	www.are.ch
-----	--

5.2003

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	I
Kurzfassung	II
Résumé.....	IV
Sintesi	VI
Summary.....	VIII
1 Hintergrund und Ziele der Untersuchung.....	1
2 Untersuchungskonzept.....	4
3 Aufnahme des Ist-Zustands.....	7
3.1 Etablierung Ist-Zustand Schienenverkehr	7
3.2 Etablierung Ist-Zustand Strassenverkehr	11
4 Schätzung der Parameter für das Routen- und Verkehrsmittelwahl Modell	15
4.1 Datenerhebung für die Modellschätzung.....	15
4.2 Modellschätzung.....	17
4.2.1 Modellergebnisse – Verkehrsmittelwahl.....	18
4.2.2 Modellergebnisse – Routenwahl	23
5 Verkehrsprognosen	26
5.1 Verkehrsmittelwahl Veränderungen	27
5.2 Routenwahl Veränderungen.....	32
5.3 Gesamte Nachfrageveränderung in Querschnittsbelastungen	34
6 Überprüfung der Prognosen	38
6.1 Ermittlung des Nachher Zustand	38
6.2 Vergleich : Prognostizierte und erhobene Verkehrsnachfrage.....	42
7 Vergleich der drei Prognosemethoden	51
8 Schlussfolgerungen	55
9 Empfehlungen und Weiterentwicklungen	58
10 Literatur.....	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Nachfrageschätzung nach Angebotsveränderungen	5
Tabelle 2	Verkehrsmittelwahl: Ergebnisse der SP-Schätzung	18
Tabelle 3	Verkehrsmittelwahl: Relative Bewertung der Einflussgrößen	19
Tabelle 4	Verkehrsmittelwahl: Nachfrageelastizitäten.....	21
Tabelle 5	Verkehrsmittelwahl: Ergebnisse der RP-Schätzung.....	22
Tabelle 6	Ergebnisse der SP-Schätzung für das Routenwahlmodell.....	23
Tabelle 7	Routenwahl: Relative Bewertung der Einflussgrößen.....	24
Tabelle 8	Definition der Angebotsvarianten.....	26
Tabelle 9	Nachfrageveränderungen im Schienenpersonenverkehr.....	29
Tabelle 10	Nachfrageveränderungen im Strassenpersonenverkehr.....	30
Tabelle 11	Aus Verkehrsmittelwahländerungen resultierende absolute und relative..... Veränderungen der Querschnittsbelastungen im Schienenverkehr	31
Tabelle 12	Aus Verkehrsmittelwahländerungen resultierende absolute und relative..... Veränderungen der Querschnittsbelastungen im Strassenverkehr.....	32
Tabelle 13	Absolute und Relative Veränderungen der Querschnittsbelastungen im	
	Schienenverkehr durch veränderte Routenwahl	33
Tabelle 14	Absolute und Relative Veränderungen der Querschnittsbelastungen im	
	Strassenverkehr durch veränderte Routenwahl.....	33
Tabelle 15	Veränderung von Streckenbelastungen im Schienenverkehr - Relativ.....	34
Tabelle 16	Veränderung von Streckenbelastungen im Strassenverkehr -Relativ	35
Tabelle 17	Relative Veränderungen der Querschnittsbelastungen	39
Tabelle 18	Prognostizierte und Erhobene bzw. Kalibrierte Nachfrageveränderungen..	43
Tabelle 19	Berechnete Fehlergrösse zwischen prognostizierten und erhobene	
	bzw. kalibrierter Anzahl Fahrten [in %]	44
Tabelle 20	Mittlere Veränderung der Streckenbelastungen zwischen 1999 und	
	2001 im Schienenverkehr	45
Tabelle 21	Abweichungen zwischen prognostizierten und erhobenen.....	
	Streckenbelastungen auf einzelnen Streckenabschnitten.....	47

Tabelle 22 Methodenvergleich Verkehrsmittelwahl – Veränderung der Quell-Ziel-Matrix.....	52
Tabelle 23 Methodenvergleich - Aus Verkehrsmittelwahländerungen resultierende absolute Veränderungen der Querschnittsbelastungen	53
Tabelle 24 Zusätzliche Abweichungen im Vergleich mit SP-Methode [in %]	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 ICN Korridor	3
Abbildung 2 Einzelne Arbeitsschritte und die Datengrundlage für die Modellabbildung	6
Abbildung 3 Vergleich zwischen Modellquerschnittsbelastungen und	
Querschnittszählungen (mit und ohne Kalibration) - Schienenverkehr	9
Abbildung 4 Umlegung mit Kalibration - Schienenverkehr	10
Abbildung 5 Vergleich zwischen Modellquerschnittsbelastungen und	
Querschnittszählungen – Strassenverkehr.....	13
Abbildung 6 Umlegung mit Kalibration - Strassenverkehr.....	14
Abbildung 7 Veränderungen der Streckenbelastungen durch Routen- und	
Verkehrsmittel-wahleffekte im Schienennetz	36
Abbildung 8 Veränderungen der Streckenbelastungen durch Routen- und	
Verkehrsmittel-wahleffekte im Strassenverkehr	37
Abbildung 9 Veränderung der Netzbelastungen im Schienenverkehr 2001/1999	40
Abbildung 10 Veränderung der Netzbelastungen im Strassenverkehr 2001 / 1999	41
Abbildung 11 Differenz in der Netzbelastungen SP Methode – Zählungen 2001	
[Schienenverkehr]	49
Abbildung 12 Differenz in der Netzbelastungen SP Methode – Zählungen 2001	
[Strassenverkehr].....	50

Abstract

Das Hauptziel des Forschungsauftrages war, die Nachfragewirkung der „ICN-Einführung“ anhand einer netzbasierten Verkehrsmodellierung vorherzusagen und anschliessend die Resultate mittels einer Vorher-/Nachher-Analyse zu verifizieren. Die Grenzen und Möglichkeiten von Prognosemethoden (revealed und stated preference Analyse) wurden aufgezeigt und die Resultate der Prognose plausibilisiert. Die Untersuchung gibt auch Hinweise über den zweckmässigen Einsatz von verschiedenen Prognosemethoden zur Abschätzung der Nachfragentwicklung infolge von Angebotsveränderungen in Verkehrsnetzen.

Ce mandat de recherche avait pour objectif principal d'établir une prévision des incidences sur la demande de „l'introduction des trains pendulaires ICN“ au moyen d'une modélisation du trafic basée sur le réseau et ensuite de vérifier ces résultats grâce à une analyse ex ante / ex post. Cette étude a mis en évidence les limites et les possibilités des méthodes de prévision (enquêtes "préférences observées" et "préférences déclarées" - revealed and stated preference) et permis de vérifier la vraisemblance des prévisions. L'étude donne également des indications sur l'utilisation appropriée de diverses méthodes de prévision servant à l'appréciation de l'évolution de la demande due à des modifications de l'offre sur les réseaux de transport.

Lo scopo principale del mandato di ricerca consisteva nel prevedere l'effetto dell'“introduzione dell'ICN„ sulla domanda attraverso un modello di calcolo del traffico basato sulla rete e nel verificare successivamente i risultati secondo un'analisi “prima / dopo”. Sono stati illustrati i limiti e le potenzialità dei metodi di previsione (analisi di tipo revealed e stated preference) e commentati i risultati conseguiti. L'indagine fornisce anche indicazioni sull'impiego adeguato di diversi metodi di previsione utilizzati per valutare lo sviluppo della domanda in seguito alle variazioni dell'offerta nel settore dei trasporti.

The principal aim of the study was to use a network-based transport model to predict the impact on demand of introducing intercity tilting-trains (ICNs) and then to verify the results on the basis of an ex ante/ex post analysis. The limits and possibilities of three data sources for forecasting (revealed and stated preference data and various direct elasticities) are discussed and the results of the forecasts checked for their plausibility. The study also provides suggestions for the appropriate use of different methods for forecasting demand following supply-side changes in transport networks.

Kurzfassung

Für die Ermittlung von Verkehrsprognosen ist neben der geeigneten Datengrundlage, die Kenntnis der Wirkungszusammenhänge zwischen der Verkehrsnachfrage und den nachfragebeeinflussenden Faktoren eine wesentliche Voraussetzung. Diese Zusammenhänge werden durch die mathematischen Funktionen bzw. Gesetzmässigkeiten und den zu bestimmenden Modellparameter beschrieben. Die aus dem beobachteten Verkehrsverhalten (*revealed preference*(RP) - Daten) ermittelten Gesetzmässigkeiten sind oft mit vielen Unsicherheiten behaftet und daher häufig nur eingeschränkt nutzbar. Diese Unsicherheiten sind vor allem auf die für die Ermittlung von Gesetzmässigkeiten der Verkehrsnachfrage ungeeigneten bzw. nicht gezielt erhobenen Daten zurückzuführen.

Aus diesem Grund wurde im Rahmen des SVI-Forschungsauftrages „Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr“ empfohlen, bei einigen wichtigen Verkehrsinfrastrukturinvestitionen im Rahmen von Pilotprojekten eine Begleitforschung zu etablieren, die es erlaubt, auch die Qualität der Ergebnisse von alternativen oder ergänzenden *stated-preference*-(SP)- Erhebungen zu überprüfen und zu validieren (Vrtic et al., 2000). Durch solche Untersuchungen wird es möglich, die effektiv eingetretenen und prognostizierten Nachfrageveränderungen, sowie die angewendete Prognose-Methodik zu analysieren und zu beurteilen.

Die Einführung der IC-Neigezüge (ICN) im Jahr 2001 und weiterer Angebotsverbesserungen im Schienen- und Strassenverkehr, bieten die Gelegenheit, durch Vorher-/Nachher Erhebungen die Prognosemethoden in einem bestimmten Untersuchungsraum zu verifizieren. Diese Mischung aus qualitativen und quantitativen Veränderungen ist eine besondere Herausforderung für die Prognosemodelle und die zugehörigen Verfahren der Datenerhebung, die aber in der täglichen Praxis immer wieder bewältigt werden muss. Da es sich hier um eher kleinere Angebotsveränderungen handelt, ist zu erwarten, dass die Nachfrageveränderungen vor allem auf der Stufe der Verkehrsmittel- und Routenwahl stattfinden.

Das Hauptziel dieses Forschungsauftrages war, die Grenzen und Möglichkeiten der drei betrachteten Prognosemethoden mittels Vorher-/Nachher-Analyse zu verifizieren und aufzuzeigen. Dabei bietet diese Untersuchung gleichzeitig die Möglichkeit auch andere für die Verkehrsprognose wichtige Aspekte zu analysieren. Neben der Untersuchungsmethodik erwies sich hier vor allem die Qualität und Verfügbarkeit der vorhandenen Datengrundlagen für die Abbildung des Verkehrsgeschehens als entscheidend.

Bei den Verkehrsprognosen werden in einem ersten Schritt die Auswirkungen eines veränderten Verkehrsangebots auf die Routenwahl ermittelt. Dies ist die Voraussetzung für die Berechnung der modalen Verlagerungen der Verkehrsnachfrage und die nachfolgende Überprüfung der Verkehrsprognosen. Für die Berechnung der Verkehrsmittelwahlveränderungen sind die drei gebräuchlichsten Arten von Prognoseansätzen zu überprüfen:

- Klassische Elastizitäten
- RP-Modelle, d.h. Modellparameter auf Grundlage von RP-Daten
- SP-Modelle, d.h. Modellparameter auf Grundlage von SP-Daten

Der wesentliche Nutzen dieser Untersuchung kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Möglichkeiten und Grenzen, sowohl die Vorteile und Nachteile, der drei betrachteten Prognosemethoden wurden dargestellt.
- Die Methodische Grundlagen und Vorgehensweisen zur Erstellung von Verkehrsprognosen unter Anwendung von Netzmodellen wurden gelegt.
- Mit dieser Untersuchung wurden in der Schweiz zum ersten mal die Modelle der Routen- und Verkehrsmittelwahl aus einer SP-Datengrundlage geschätzt.
- Die mit diesen Daten geschätzten Modellparameter sind die Grundlage für die Anwendung der Routen- und Verkehrsmittelwahl-Modelle bzw. für die Schätzung von Routen- und Verkehrsmittelwahl-Veränderungen infolge von Angebotsänderungen.
- Die geschätzten Modellparameter, die Zeitwerte und die relativen Bewertungen der Einflussgrößen haben die Bedeutung der einzelnen Variablen für die Verkehrsmittelwahl und Routenwahl aufgezeigt. Diese wurde fahrtzweckspezifisch ermittelt.
- Methodische Grundlage für die Anwendung der SP-Methode bei der Schätzung von Entscheidungsmodellen (hier Routen- und Verkehrsmittelwahl) wurden dargestellt.
- Durch die Verifizierung der Verkehrsprognosen wurde gezeigt, wie und wo weitere Verbesserungen im Bezug auf die Datengrundlage als auch Methodik noch möglich bzw. nötig sind.
- Möglichkeiten und methodische Grundlage für die gemeinsame Schätzung der Modellparameter aus RP- und SP Daten wurden dargestellt.

Résumé

Pour établir des perspectives concernant les transports, il faut non seulement disposer des données de base indispensables, mais également connaître les interactions entre la demande de transport et les facteurs qui influencent celle-ci. Ces interdépendances sont décrites par des fonctions mathématiques, respectivement des données caractéristiques, et par des paramètres de modélisation. Les données recueillies selon la technique d'enquête "préférences observées" *revealed preference* - (RP) sont souvent grevées de nombreuses incertitudes; leur utilisation est par conséquent limitée. Ces erreurs sont essentiellement dues au fait que les données recueillies pour déterminer les caractéristiques de la demande de transports sont inappropriées ou mal ciblées.

Aussi la recommandation a-t-elle été donnée, dans le cadre du mandat de recherche de l'Association suisse des ingénieurs en transports (SVI): „Sensibilité du comportement face à des modifications d'offres et de prix dans le domaine du transport de voyageurs“, de procéder, pour quelques grands projets d'infrastructure des transports, à une recherche complémentaire dans le cadre de projets-pilotes afin de contrôler et valider la qualité des résultats obtenus selon la technique d'enquête "préférences déclarées" *stated-preference*- (SP) (Vrtic et al., 2000). Ces techniques d'enquête permettent d'étudier les modifications effectives et annoncées de la demande, mais aussi d'analyser et d'évaluer la méthodologie utilisée pour faire des prévisions.

L'introduction des trains pendulaires ICN en 2001 ainsi que d'autres améliorations de l'offre de transports routiers et ferroviaires ont constitué une occasion de vérifier ces méthodes par des études *ex ante* / *ex post* dans un champ d'étude déterminé. Ce panachage de modifications qualitatives et quantitatives pose un défi particulier pour les modèles de prévision et les procédures de saisie des données qui doivent cependant être maîtrisées dans la pratique quotidienne. Comme, en l'occurrence, les modifications de l'offre sont plutôt modestes, on peut s'attendre à ce que les changements affectant la demande portent essentiellement sur le choix des moyens de transport et des trajets.

L'objectif principal de ce mandat de recherche était de mettre en évidence et vérifier par des études *ex ante* /*ex post* les limites et les possibilités des trois méthodes de prévision envisagées. Parallèlement, cette étude a offert la possibilité d'analyser d'autres aspects importants pour l'établissement de prévisions de trafic. Outre la méthodologie d'enquête, la qualité et la disponibilité des données de base existantes sont des éléments décisifs pour modéliser les comportements.

Il importe, dans une première étape, de déterminer l'impact d'une modification de l'offre de transport sur le choix des itinéraires. Il s'agit là d'une condition indispensable pour évaluer les transferts modaux induits par la demande, puis vérifier les prévisions de trafic. L'estimation des modifications affectant le choix du moyen de transport est vérifiée au moyen des trois méthodes d'enquête les plus utilisées:

- Elasticités classiques
- Modèles RP, c'est-à-dire paramètres basés sur des préférences observées
- Modèles SP, c'est-à-dire paramètres basés sur des préférences déclarées

L'intérêt essentiel de cette étude peut se résumer de la façon suivante:

- Présentation des possibilités et des limites, ou des avantages et des inconvénients, des trois méthodes envisagées.
- Détermination des fondements méthodologiques et des procédés d'établissement de prévisions de trafic au moyen de réseaux modélisés.
- Cette étude a permis pour la première fois en Suisse d'évaluer les modèles de choix d'itinéraires et du moyen de transport à partir d'une enquête de "préférences déclarées".
- Les paramètres calculés à partir de ce type de données servent de point de départ pour utilisation de modèles de choix d'itinéraires et de modes de transports, respectivement de base d'appréciation des modifications du choix des itinéraires et des moyens de transport résultant de changements de l'offre.
- Les paramètres de modélisation, les valeurs attribuées au temps et l'évaluation relative des facteurs d'influence ont montré l'impact de chacune des variables sur le choix de l'itinéraire et le choix du moyen de transport. Cette importance a été déterminée en fonction du motif de déplacement.
- Exposé des fondements méthodologiques réglant l'utilisation d'enquêtes de "préférences déclarées" pour l'estimation de modèles décisionnels (ici choix des itinéraires et des moyens de transport).
- La vérification des prévisions de trafic a montré comment et où apporter des améliorations au niveau des données de base et de la méthodologie.
- Représentation des possibilités et fondements méthodologiques de l'estimation des paramètres de modélisation basés à la fois sur des préférences observées et déclarées (RP et SP).

Sintesi

Oltre al corpus di dati adeguati, un presupposto fondamentale per la determinazione delle previsioni di traffico è dato dalla conoscenza delle interazioni tra la domanda di trasporto e i fattori che la influenzano. Queste relazioni sono descritte mediante funzioni o leggi matematiche come pure mediante i parametri di modellizzazione da determinare. Le leggi derivanti dall'osservazione dei comportamenti nel traffico (dati *revealed preference*(RP)) sono spesso caratterizzate da molte incertezze e, di conseguenza, sono in molti casi utilizzabili solo parzialmente. Queste incertezze sono principalmente riconducibili al fatto che i dati utilizzati per determinare le leggi che regolano la domanda di trasporti sono inadeguati o non rilevati in modo ottimale.

Per questa ragione, nel quadro del mandato di ricerca SVI „Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr“ (sensibilità alle variazioni nell'offerta e nei prezzi del trasporto di persone), per alcuni investimenti importanti di infrastruttura delle comunicazioni rientranti in progetti pilota è stato raccomandato di avviare una ricerca complementare che consenta di verificare e di validare anche la qualità dei risultati dei rilevamenti *stated-preference*-(SP) di natura alternativa e complementare (Vrtic et al., 2000). Queste indagini permettono di analizzare e di valutare le variazioni effettive o stimate della domanda come pure il tipo di metodologia di previsione adottata.

L'introduzione dei treni IC ad assetto variabile (ICN), avvenuta nel 2001, unitamente a ulteriori miglioramenti nell'offerta del trasporto ferroviario e stradale offre la possibilità – mediante rilevamenti “prima / dopo” – di verificare i metodi di previsione in un determinato campo d'indagine. Questo insieme di variazioni qualitative e quantitative rappresenta una sfida particolare per i modelli di previsione e le annesse procedure di rilevamento dei dati con cui nella prassi reale bisogna continuamente confrontarsi. Si tratta di variazioni piuttosto modeste dell'offerta, ragion per cui è da ritenere che le variazioni della domanda si rifletteranno soprattutto a livello della scelta del vettore di trasporto e dell'itinerario.

Lo scopo principale di questo mandato di ricerca era quello di verificare e illustrare, mediante l'analisi “prima / dopo”, i limiti e le potenzialità dei tre metodi di previsione considerati. Contestualmente, questa indagine offre l'opportunità di analizzare anche altri aspetti rilevanti ai fini della previsione del traffico. Oltre alla metodologia di indagine, per la rappresentazione della fenomenologia dei trasporti si sono rivelate decisive soprattutto la qualità e la disponibilità dei dati esistenti.

Nelle previsioni di traffico, in una prima fase vengono stimati gli effetti che una variazione nell'offerta dei trasporti produce sulla scelta dell'itinerario, il che costituisce il presupposto per il calcolo del trasferimento modale della domanda di trasporti e la successiva verifica delle previsioni di traffico. Il calcolo delle variazioni relative alla scelta del vettore di trasporto richiede la verifica dei tre tipi principali di approccio previsionale:

- Elasticità classiche
- Modelli RP, ovvero parametri di modello sulla base di dati RP
- Modelli SP, ovvero parametri di modello sulla base di dati SP

In sintesi, l'utilità principale della presente indagine consiste nei seguenti punti.

- Sono state presentate le potenzialità e i limiti come pure i vantaggi e gli svantaggi dei tre metodi di previsione.
- Sono state definite le basi metodologiche e le procedure finalizzate alle previsioni di traffico mediante modelli di rete.
- Con quest'indagine, per la prima volta in Svizzera, i modelli della scelta degli itinerari e del vettore di trasporto sono stati stimati sulla base di un corpus di dati SP.

I parametri di modellizzazione valutati con questi dati costituiscono la base per l'impiego dei modelli di scelta degli itinerari e dei vettori di trasporto e per la valutazione delle variazioni nella scelta di itinerari e vettori in seguito a variazioni dell'offerta.

- I parametri di modellizzazione stimati, i valori temporali e le valutazioni relative delle grandezze di influenza hanno messo in luce il significato delle singole variabili per la scelta del vettore di trasporto e dell'itinerario. Questa è stata rilevata specificamente per ogni scopo di tragitto.
- Sono state presentate le basi metodologiche per l'utilizzazione dei metodi SP nella valutazione dei modelli decisionali (scelta dell'itinerario e del vettore di trasporto).
- Dalla verifica delle previsioni di traffico sono emersi i punti in cui sono possibili o necessari ulteriori miglioramenti per quanto riguarda il corpus di dati e la metodologia.
- Sono state presentate le potenzialità e la base metodologica per la valutazione globale dei parametri di modello derivanti dai dati RP e SP.

Summary

In addition to adequate data, the formulation of transport forecasts relies upon a knowledge of the relationships between the demand for transport and those factors which influence it. These relationships are described with mathematical functions and their model parameters. The parameters derived from revealed preference (RP) data are often subject to too many imponderables and are thus of only limited value in many cases. The main cause of this uncertainty is data which is either insufficiently detailed or unsuitable for estimating transport demand functions.

For this reason, an earlier SVI study concerning the sensitivity of passenger transport to supply-side and price changes recommended that research should be conducted in parallel with major transport infrastructure investments. In this way this recommended project would be able to check and validate the quality of the findings from alternative or supplementary *stated preference* (SP) (Vrtic et al., 2000), as both forecast and actual changes in demand would be known to it.

The launch of intercity tilting-trains (known as ICNs) in 2001 and further supply-side improvements to road and rail transport supply offered an opportunity to conduct ex ante/ex post surveys in order to verify the forecasting approaches in a defined period. This mix of qualitative and quantitative changes is a particular challenge for forecasting and the attendant data collection process. Nonetheless, it is a challenge that must be overcome again and again in day-to-day practice. As the supply-side changes are generally small, it was expected that changes on the demand side will be concentrated at the level of mode and route choice.

The principal aim of this research remit was to verify and identify the limits and possibilities of the three data sources for forecasting by means of an ex ante/ex post analysis. However, this study also offered an opportunity to analyse other aspects of importance to transport forecasting. Here, in addition to the study methodology, the quality and accessibility of the available bodies of data proved to be crucial factors in modelling transport movements and events.

In a first stage the study estimated a detailed public transport route choice model and calibrated national network models for both road and rail demand. This is an essential preliminary stage to the calculation of modal shifts in demand for transport and the subsequent review of the different forecasts. In the case of mode choice changes, the three most common approaches to forecasting were to be tested:

- Direct elasticity, known from previous studies
- RP models, i.e. model parameters based on RP data
- SP models, i.e. model parameters based on SP data

The primary benefits of this study can be summarized as follows:

- It sets out the opportunities and limits, as well as the advantages and disadvantages, of the three data sources for forecasting under review.
- This the first study to provide models of route and mode choice which have been estimated from SP data.

The model parameters estimated using this data provide the basis for the practical application of mode and route choice models following supply-side transport changes.

- The estimated model parameters, current figures and the relative valuations demonstrate the importance of individual variables to mode and route choice. They were estimated for each trip purpose.
- The study showed that in this case the forecasts derived from the SP-data were more consistent and more precise than either the estimates from the direct elasticities or the RP data.
- Verifying transport forecasts shows how and where further improvements can or must still be made with regard to both data bases and methodology.
- The study describes the possibilities and methodical foundation for common SP/RP estimates of model parameters.

1 Hintergrund und Ziele der Untersuchung

Die Aufteilung der Verkehrsnachfrage zwischen den Verkehrsträgern wird immer stärker durch verschiedene verkehrs- und unternehmenspolitische Massnahmen gesteuert. Durch solche Massnahmen und Veränderung der nachfragebeeinflussenden Faktoren bzw. Attraktivitätssteigerung des Verkehrsangebots sind verschiedene Verhaltensreaktionen der Verkehrsteilnehmer möglich. Bei der Quantifizierung der verkehrlichen Auswirkungen dieser Massnahmen sind die Routen- und Verkehrsmittelwahlveränderungen sowohl kurz- als auch langfristig die zwei wichtigsten Komponenten. Die Schätzung dieser Nachfrageeffekte bzw. Routen- und Verkehrsmittelwahlmodelle (und der darauf basierenden Auswirkungen) hat damit für die Verkehrsprognosen und die Bewertung der Massnahmen eine zentrale Bedeutung.

Für die Ermittlung von Verkehrsprognosen ist neben der geeigneten Datengrundlage die Kenntnis der Wirkungszusammenhänge zwischen der Verkehrsnachfrage und den nachfragebeeinflussenden Faktoren eine wesentliche Voraussetzung. Diese Zusammenhänge werden durch die mathematischen Funktionen bzw. Gesetzmässigkeiten und den zu bestimmenden Modellparameter beschrieben. Die aus beobachtetem Verkehrsverhalten (*revealed preference*(RP) - Daten) ermittelten Gesetzmässigkeiten sind oft mit vielen Unsicherheiten behaftet und daher häufig nur eingeschränkt nutzbar. Diese Unsicherheiten sind vor allem auf die für die Ermittlung von Gesetzmässigkeiten der Verkehrsnachfrage ungeeigneten bzw. nicht gezielt erhobenen Daten zurückzuführen. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des SVI-Forschungsauftrages „Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr“ (SVI Nr. 44/98) empfohlen, bei einigen wichtigen Verkehrsinfrastrukturinvestitionen im Rahmen von Pilotprojekten eine Begleitforschung zu etablieren, die es erlaubt, auch die Qualität der Ergebnisse von alternativen oder ergänzenden *stated-preference*-(SP)- Erhebungen¹ zu überprüfen und zu validieren (Vrtic et al., 2000). Durch solche Untersuchungen wird es möglich, die effektiv eingetretenen und prognostizierten Nachfrageveränderungen, sowie die angewendete Prognose-Methodik zu analysieren und zu beurteilen.

Die SBB und das Bundesamt für Raumentwicklung ARE überprüfen, ergänzen und erweitern im Moment ihre Werkzeuge zur Abschätzung der Auswirkungen von Veränderungen beim

¹ Die Methoden der Stated Preferences ermitteln mögliche Verhaltensreaktionen der Befragten durch die Vorgabe einer Reihe von Entscheidungssituationen, die verschiedene Alternativen enthalten. Wesentlich ist dabei, dass die Situationen so gewählt werden, dass die relevanten Ausschnitte des Entscheidungsraumes systematisch ausgelotet werden.

Schienen- und Strassenverkehr. Diese Aktivitäten, aber auch andere Studien (siehe zum Beispiel Vrtic, Koblo und Vödich, 1999; Vrtic, Axhausen, Koblo und Vödich, 2000) haben gezeigt, dass insbesondere die verwendeten Modellansätze einer empirischen Überprüfung bedürfen. Die vorgesehenen Angebotsverbesserungen im Rahmen von Bahn 2000 1. Etappe ermöglichen diese Überprüfung.

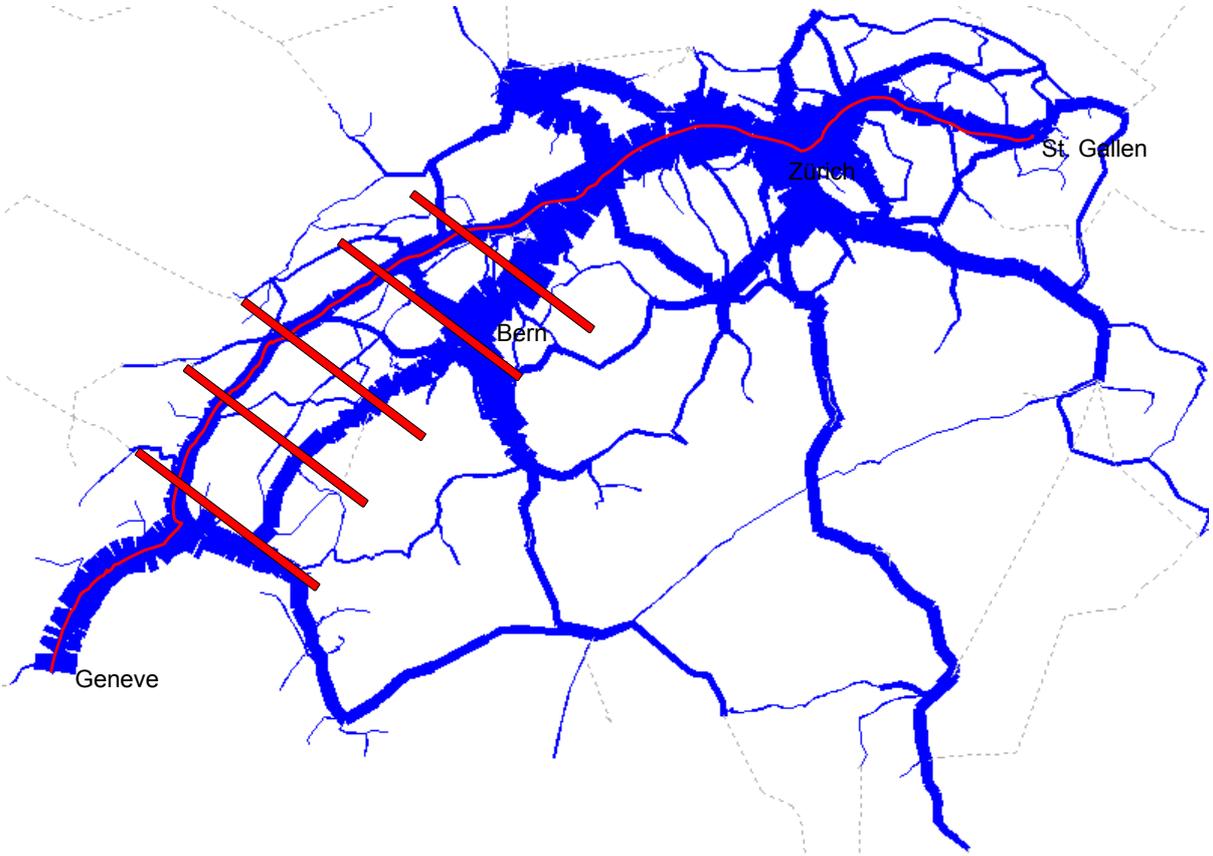
Die Einführung der IC-Neigezüge (Abbildung 1) im Jahr 2001 und weiterer Angebotsverbesserungen in den Folgejahren bieten die Gelegenheit, durch Vorher-/Nachher Erhebungen die Prognosemethoden in einem bestimmten Untersuchungsraum zu verifizieren. Diese Züge verändern sowohl die Qualität als auch die Reisezeiten der Fahrten auf dem Schienennetz. Diese Mischung aus qualitativen und quantitativen Veränderungen ist eine besondere Herausforderung für die Prognosemodelle und die zugehörigen Verfahren der Datenerhebung, die aber in der täglichen Praxis immer wieder bewältigt werden muss. Gleichzeitig zur Veränderung des Bahnangebots erfolgt im gleichem Zeitraum auch die Erweiterung des Strassenangebots. Diese Angebotserweiterungen bewirken direkte und Kreuzreaktionen der Verkehrsnachfrage im Schienen- und Strassenverkehr, so dass eine Modellierung von beiden Verkehrsträgern nötig ist.

Das Hauptziel des Forschungsauftrages ist, die Nachfragewirkung der „ICN-Einführung“ vorherzusagen und anschliessend die Resultate mittels einer Vorher-/Nachher-Analyse zu verifizieren. Die Grenzen und Möglichkeiten von Prognosemethoden (revealed und stated preference Analyse) sollten aufgezeigt und die Resultate der Prognose plausibilisiert werden. Damit soll die Untersuchung Hinweise auf den zweckmässigen Einsatz von verschiedenen Prognosemethoden zur Abschätzung der Nachfrageentwicklung infolge von Angebotsveränderung geben.

Da es sich hier um eher kleinere Angebotsveränderungen handelt, ist zu erwarten, dass die Nachfrageveränderungen vor allem auf der Stufe der Verkehrsmittel- und Routenwahl stattfinden. Andere Nachfrageveränderungen wie z.B. Zielwahlveränderungen (mit gleichem oder anderem Verkehrsmittel), Verlagerungen vom nicht motorisierten Verkehr, veränderte Abfahrtszeiten, veränderte Kursbelastungen (Linienbelastungen) innerhalb einer ÖV-Route, usw. werden hier nicht betrachtet.

Mit Schreiben vom 28. August 2000 wurde das IVT der ETH Zürich und das IRE der USI Lugano von der SBB, Division Personenverkehr und dem Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) mit der Bearbeitung der Studie beauftragt.

Abbildung 1 ICN Korridor



2 Untersuchungskonzept

Die Arbeiten werden in drei grosse Abschnitte unterteilt:

- Aufnahme des Ist-Zustands 1999/2000 (Vorher-Zustand)
- Prognosen der Nachfrageänderungen
- Überprüfung der Prognosen im Nachher-Zustand 2001/2002

Als vierter Schritt ist die Durchführung geeigneter Befragungen zu ergänzen:

- Entwurf, Durchführung und Auswertung der Stated-Preference-Befragungen

Der abgebildete Ist-Zustand und die aus RP- und SP-Modellen ermittelten Gesetzmässigkeiten der Verkehrsnachfrage stellen die Voraussetzungen für die Verkehrsprognose dar. Die mit mehreren Methoden ermittelten Nachfrageprognosen werden mittels Vorher-Nachher-Analysen verifiziert und plausibilisiert. Um angewendete Prognosemethoden zu überprüfen und aufgetretene Nachfrageveränderungen zu verifizieren, ist es nötig, neben Vorher-Nachher-Erhebungen auch die betrachteten Verkehrszustände mit netzbezogenen Verkehrsmodellen abzubilden, insbesondere um die Quell-Ziel-Beziehungen vor- und nach der Angebotsveränderung vollständig zu analysieren. Aus den Vorher-Nachher-Untersuchungen lassen sich Empfehlungen für den zweckmässigen Einsatz der verschiedenen Prognosemethoden und für die Schätzung der Nachfragereaktionen ableiten. Eine Übersicht über das Arbeitsprogramm ist in Abbildung 2 dargestellt.

Da neben der Einführung von ICN - Zügen im betrachteten Zeitraum auch andere Massnahmen im Verkehrssystem durchgeführt worden sind, werden die Nachfrageauswirkungen von einzelnen Angebotsveränderungen getrennt geschätzt. Damit werden die Verkehrsprognosen stufenweise für jede Massnahme einzeln als auch für alle Massnahmen zusammen (Tabelle 1) berechnet .

Tabelle 1 Nachfrageschätzung nach Angebotsveränderungen

Angebotsveränderungen (*)	Läufe										Routenwahl	Verkehrsmittelwahl
	Null	S1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	BS			
Null	✓											
Nur Strasse**		✓									✓	✓
ICN			✓				✓			✓	✓	✓
IR Basel-Genf A. (via Biel)				✓			✓			✓	✓	✓
IR Zürich-Biel "Plateau" (via Bern)					✓	✓				✓	✓	✓

(*) sind im Technischen Bericht beschrieben, (**) Yverdon - Arrossoules, Cheyres - Cugy und Andelfingen - Henggart

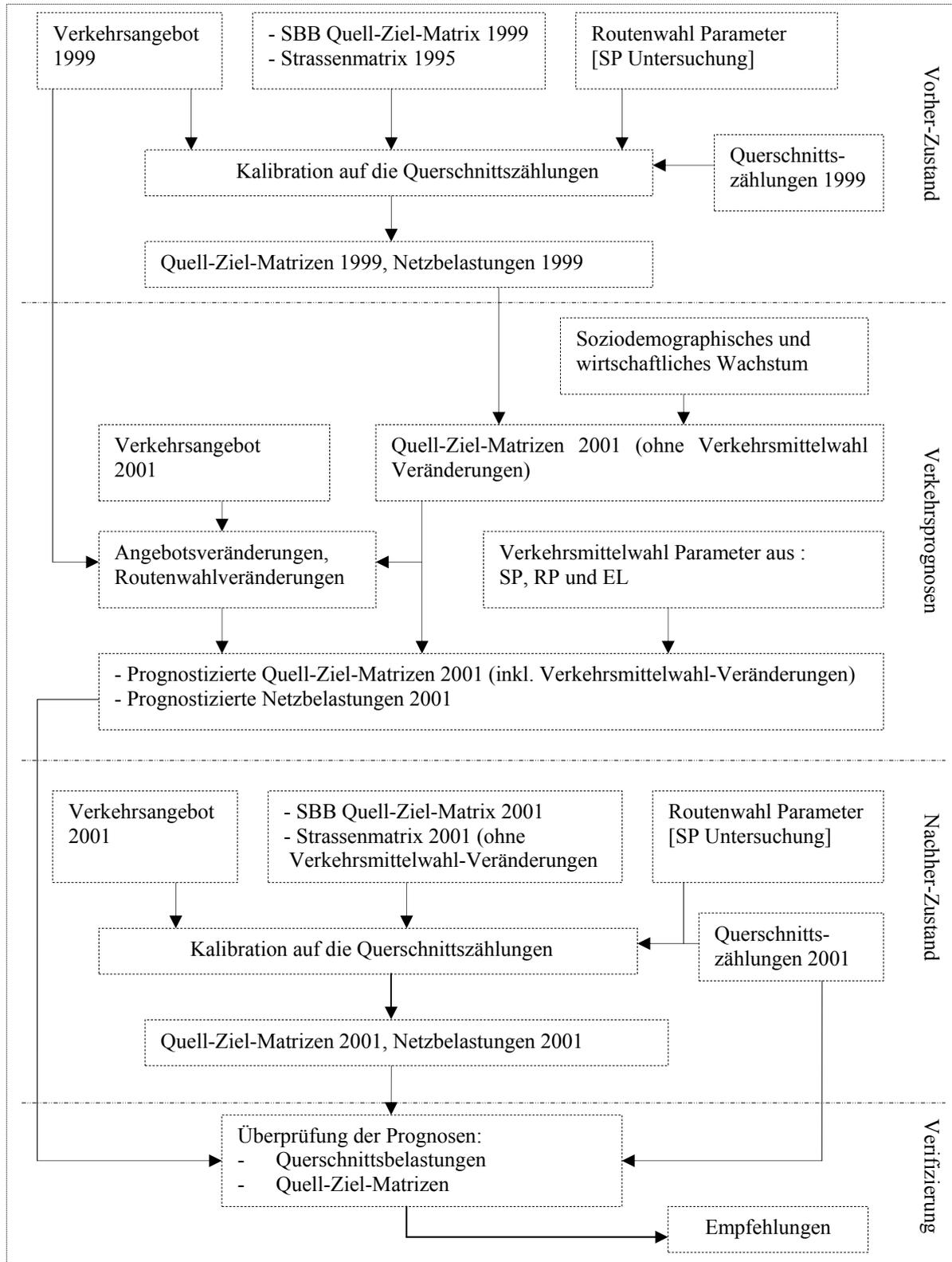
Bei den Verkehrsprognosen werden in einem ersten Schritt die Auswirkungen eines veränderten Verkehrsangebots auf die Routenwahl ermittelt. Dies ist die Voraussetzung für die Berechnung der modalen Verlagerungen der Verkehrsnachfrage und die nachfolgende Überprüfung der Verkehrsprognosen. Auf der Grundlage der SP-Befragung wird die Bedeutung der wichtigen Einflussfaktoren für die Routenwahl bewertet (Fahrzeit, Wartezeit, Umsteigezeit, Umsteigehäufigkeit). Die so ermittelten Parameter sind zuerst im Ist-Zustand anzuwenden und zu überprüfen.

Die Einführung des ICN und der anderen Elemente von Bahn 2000 im Untersuchungszeitraum, bietet unter Berücksichtigung der Angebotsveränderungen auf der Strasse die Möglichkeit, die drei gebräuchlichsten Arten von Prognoseansätzen zu überprüfen:

- Klassische Elastizitäten
- RP-Modelle, d.h. Modellparameter auf Grundlage von RP-Daten
- SP-Modelle, d.h. Modellparameter auf Grundlage von SP-Daten

Die modalen Verlagerungen der Verkehrsnachfrage sind auf der Stufe der Quell-Ziel Matrix unter Anwendung der Modellparameter für das Verkehrsmittelwahlmodell (RP- und SP Parameter) und Nachfrageelastizitäten (klassische Nachfrageelastizitäten) zu berechnen. Neuberechnete Matrizen werden mit dem Routenwahlmodell in ein verändertes Verkehrsangebot umgelegt und damit werden die Veränderungen der Querschnittbelastungen sowohl im Schienen- als auch im Strassenverkehr ermittelt. Der Vergleich von Entwicklung und Prognosen wird sowohl auf der Ebene der Gesamtnachfrage als auch auf der Ebene der Strecken und Quell-Ziel-Beziehungen stattfinden, wobei sowohl die Genauigkeit der Zählungen als auch die der Umlegung zu berücksichtigen ist.

Abbildung 2 Einzelne Arbeitsschritte und die Datengrundlage für die Modellabbildung



3 Aufnahme des Ist-Zustands

Die Aufnahme des Ist-Zustands muss mit entsprechender Gründlichkeit erfolgen, um die teilweise kleinen, zu erwartenden Änderungen auch verfolgen zu können. Dies ist die Grundlage für die Berechnung und Verifizierung von Verkehrsprognosen. Die Aufgabenstellung in diesem Arbeitsschritt hat sich auf folgende Schwerpunkte konzentriert:

- Vorbereitung und Plausibilitätsprüfung der Datengrundlage
- Modellkalibration
- Modellauswertung und Plausibilitätsprüfung

Das Ziel ist, soweit dies mit den vorhandenen Datengrundlagen möglich ist, eine realitätsnahe Abbildung des Verkehrsangebots und der Verkehrsnachfrage sowie der Gesetzmässigkeiten der Verkehrsnachfrage im Verkehrsmodell zu erreichen. Dabei wird versucht, eine genügende Genauigkeit sowohl auf der Ebene der Querschnittsbelastungen als auch bei der Betrachtung der Quell-Ziel-Beziehungen zu erreichen.

3.1 Etablierung Ist-Zustand Schienenverkehr

Angebotsdaten

Die Ausgangsdaten für die Abbildung des Ist-Zustands im Schienenpersonenverkehr wurden von den SBB zur Verfügung gestellt. Als Basisjahr wurde der Fahrplan für den Zeitraum 1999/2000 betrachtet. Die Abbildung des Verkehrsangebots beinhaltete neben dem Fahrplan des Schienenpersonenverkehrs (SBB und einige Privatbahnen) in der Schweiz auch das ergänzende Busnetz und relevante Angebote aus dem Ausland. Betrachtet wurde dabei das Angebot für einen Werktag. Die Daten wurden vor allem auf der Grundlage des schon vorhandenen Modellzustands 1997/1998 (Vrtic, Koblo und Vödisch, 1999) für den Fahrplan 1999/2000 aktualisiert. Von den SBB im Polydrom-Format zur Verfügung gestellte Daten wurden nach VISUM² exportiert und überprüft. Die Plausibilisierung der Daten hat sich vor

² VISUM ist ein Programm für die rechnergestützte Verkehrsplanung, das der Analyse und der Planung des Systems Verkehr dient. Das Programm wurde von der Karlsruher Firma *PTV System* entwickelt (siehe PTV, 1999).

allem auf die Vollständigkeit und Richtigkeit des Fahrplans konzentriert. Das Schienenpersonenmodell beinhaltet: 2587 Knoten, 5026 Strecken und 589 Linien mit 9700 Kursen.

Die Grundlage des Modells bilden 1108 Zonen, davon sind 971 Binnen- und 137 Auslandzonen. Die Zonenabbildung im Binnenverkehr wurde auf Basis der Frequenzerhebung der SBB und der Bahnhofscodierung erstellt. Mit den Auslandzonen wurde der vorhandene Fahrplan im internationalen Verkehr und die dazu gehörenden Bahnhöfe vollständig abgebildet.

Umlegung und Kalibration der Quell-Ziel-Matrix

Die SBB führen jedes Jahr pro Zug an 5 Tagen Erhebungen zur Fahrausweisstruktur in den Zügen durch. Dabei werden auch Quelle- und Ziel der Fahrt erfasst. Aus dieser Befragung und dem vorhandenen Fahrplan (Linienangebot) wird eine Hochrechnung auf den durchschnittlichen Werktagsverkehr (DWV) durchgeführt. Die so erzeugte Quell-Ziel-Matrix und die Daten über die Querschnittsbelastungen des Bahnnetzes wurden von den SBB zur Verfügung gestellt. Diese Matrix wurde dann mit einem fahrplanfeinen Umlegungsverfahren auf das vorhandene Verkehrsangebot umgelegt. Da im Modell ein vollständiger Fahrplan abgebildet wurde, empfiehlt sich die fahrplanfeine Umlegung als das bestgeeignete Verfahren.

Bei der Ermittlung der generalisierten Kosten (Nutzen) der Routenwahl werden die Variablen Fahrzeit, Startwartezeit, Umsteigezeit und Umsteigehäufigkeit berücksichtigt. Die Startwartezeit wird als eine Funktion des Intervalls berechnet. Die Parameter für die generalisierten Kosten wurden aus Stated Preference Daten mit einem multinominalen Logit-Modell ermittelt (siehe Kapitel 4).

In einem ersten Schritt wurden die Umlegungsergebnisse bzw. Netzbelastungen der Ausgangsmatrix (ohne Kalibration) mit den Daten der Querschnittszählungen verglichen. Hier wurde festgestellt, dass die Ausgangsmatrix eine höhere Netzbelastung als die Querschnittszählungen erzeugt. Die Querschnittszählungen werden als Vergleichsmaßstab für die Modellergebnisse akzeptiert. Es sollten sich mit dem „richtigen“ Umlegungsmodell und der „richtigen“ Quell-Ziel-Matrix zwischen den Zählquerschnittsdaten und den Modellbelastungen kaum nennenswerte Unterschiede zeigen.

Nach einer detaillierten Analyse der Umlegungsergebnisse hat sich ergeben, dass eine Kalibration dieser Matrix (mit den vorhandenen Querschnittszählungen) sinnvoll ist. Dadurch werden die Abweichungen, die sich aus der Hochrechnung ergeben, korrigiert. Die Kalibration wurde so durchgeführt, dass sich die Matrixanteile nach Distanzklassen bzw. Distanzverteilung nicht verändert haben.

Die kalibrierte Matrix zeigte nach der Umlegung kleine Abweichungen (Abbildung 3) gegenüber den Querschnittszählungen. Insgesamt 80% der Strecken haben eine Abweichung zwischen Modellbelastung und dem Zählwert von unter 10% und 90% der Strecken von unter 20%. Die Differenz zwischen den Umlegungsergebnissen mit der kalibrierten Quell-Ziel-Matrix und den Zählwerten sind in Abbildung 4 dargestellt.

Abbildung 3 Vergleich zwischen Modellquerschnittsbelastungen und Querschnittszählungen (mit und ohne Kalibration) - Schienenverkehr

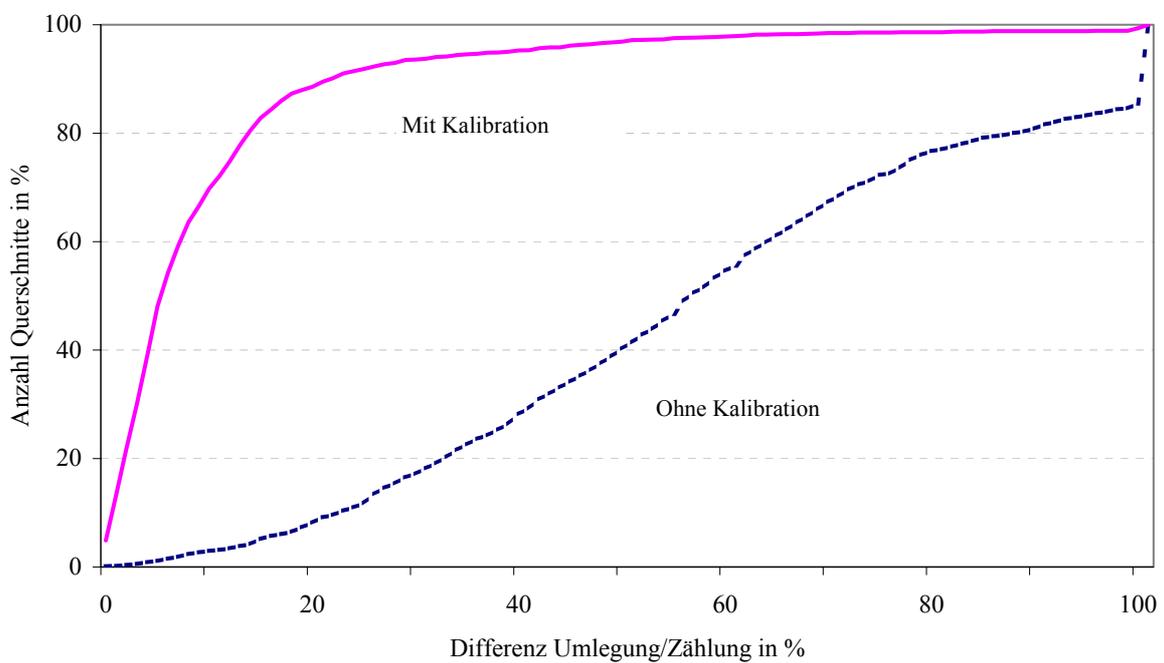


Abbildung 4 Umlegung mit Kalibration - Schienenverkehr [Vergleich Modell/Zählwerte]



gelb= Grundbelastung, rot= +, grün= -

3.2 Etablierung Ist-Zustand Strassenverkehr

Angebotsdaten

Die Ausgangsdaten für die Abbildung des Ist-Zustands im Strassenpersonenverkehr wurden vom Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) zur Verfügung gestellt. Als Basisjahr wurde der Netzzustand 1999 gewählt. Das Strassennetz mit Attributen (Streckentyp, Streckenlänge und zulässige Geschwindigkeit) wurde damals im bestehenden Zustand vom ARE übernommen. Diese Netzbeschreibung wurde durch die Leistungsfähigkeit und die Geschwindigkeitsfunktionen nach Streckentypen erweitert bzw. korrigiert. Die Leistungsfähigkeiten der einzelnen Streckentypen wurde auf Grundlage des „Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf der Strasse“ (Brilon, Grossmann und Blanke, 1993) und der dort empfohlenen Richtwerten festgesetzt. Zusätzlich dazu wurde für jeden Streckentyp auch eine entsprechende Geschwindigkeitsfunktion (BPR³ - Capacity Restraint-Funktion) bestimmt.

Ein weiterer wichtiger Inputparameter bei der Modellierung des Tagesverkehrs in hochbelasteten Strassennetzen, ist der Umlegungszeitraum. Für die Berechnung des durchschnittlichen Werktagsverkehrs wurde hier die berechnete Leistungsfähigkeit für eine Stunde mit einem Faktor 12 hochgerechnet (siehe Vrtic und Axhausen, 2003b für die Begründung dieses Faktors). Es wurde dabei berücksichtigt, dass der Güterverkehr nicht modelliert ist, sonst wäre ein höherer Hochrechnungsfaktor zu empfehlen.

Die Zonenabbildung und ihre Anbindung an das Strassennetz wurde vom Bundesamt für Raumentwicklung definiert und übernommen. Insgesamt wurden 3066 Zonen definiert, davon 2975 Binnenzonen und 91 Auslandszonen. Die Binnenzonen sind entsprechend der Gemeindezuordnung (1995) abgebildet. Grossstädte wurden in mehrere Zonen aufgeteilt.

Umlegungsmodell und Kalibration der Quell-Ziel-Matrix

Die Ausgangsmatrix im Strassenpersonenverkehr (nur PW) für einen durchschnittlichen Werktagsverkehr wurde von Bundesamt für Raumentwicklung zur Verfügung gestellt. Diese Matrix wurde von Sigmaplan und Füsseis (1998) erzeugt und für den Zustand 1995 kalibriert. Grundlagendaten für die Erzeugung der Strassenmatrix waren soziodemografische Daten, der Mikrozensus 1994 und die Volkszählung 1990. Die aus soziodemografischen Daten und Mobilitätskennziffern berechnete Verkehrserzeugung und Verkehrsanziehung wurde mittels eines

³ Bureau of Public Roads

einfachen Gravitationsansatzes zwischen den Zonen verteilt. In einem weiteren Schritt wurde die so erzeugte Quell-Ziel-Matrix in Polydrom umgelegt und auf die Querschnittszählungen kalibriert. Diese Matrix wurde vom ARE im Polydrom-Format zur Verfügung gestellt.

Bei der Analyse dieser Matrix konnten zwei grundlegende Schwächen in der Matrixstruktur festgestellt werden:

- Die Distanzverteilung der Ausgangsmatrix wurde in der Untersuchung von Sigmaplan und Füsseis (1998) auf die Distanzverteilung des Mikrozensus 1994 kalibriert. Dabei beinhaltet Mikrozensus einen bedeutenden Anteil von Fahrten innerhalb einer Zone d.h. intrazonalen Verkehr (für hier verwendete Zonierung und Netz). Diese Fahrten sollten im Modell aber nicht berücksichtigt werden. Damit ist die Distanzverteilung des Mikrozensus 1994 für die im Modell abgebildete Zonierung und das Strassennetz nicht angemessen. Die Fahrten innerhalb einer Zone (Gemeinde) müssen hier ausgeschlossen werden.
- Auf Grundlage der soziodemografischen Daten der Zonen und der Quell-Ziel-Widerstände, wurde für die vorhandene Zonenstruktur die Nachfrageverteilung zwischen den Zonen nicht plausibel bzw. nicht realitätsentsprechend durchgeführt. Hier wurde eine starke Überbewertung der Beziehungen mit niedrigerem Widerstand und eine Unterbewertung der Beziehungen mit höherem Widerstand festgestellt.

Dementsprechend wurde die Quell-Ziel-Matrix in zwei Schritten kalibriert:

- Manuelle Kalibration
- Automatische Kalibration anhand der Querschnittszählungen

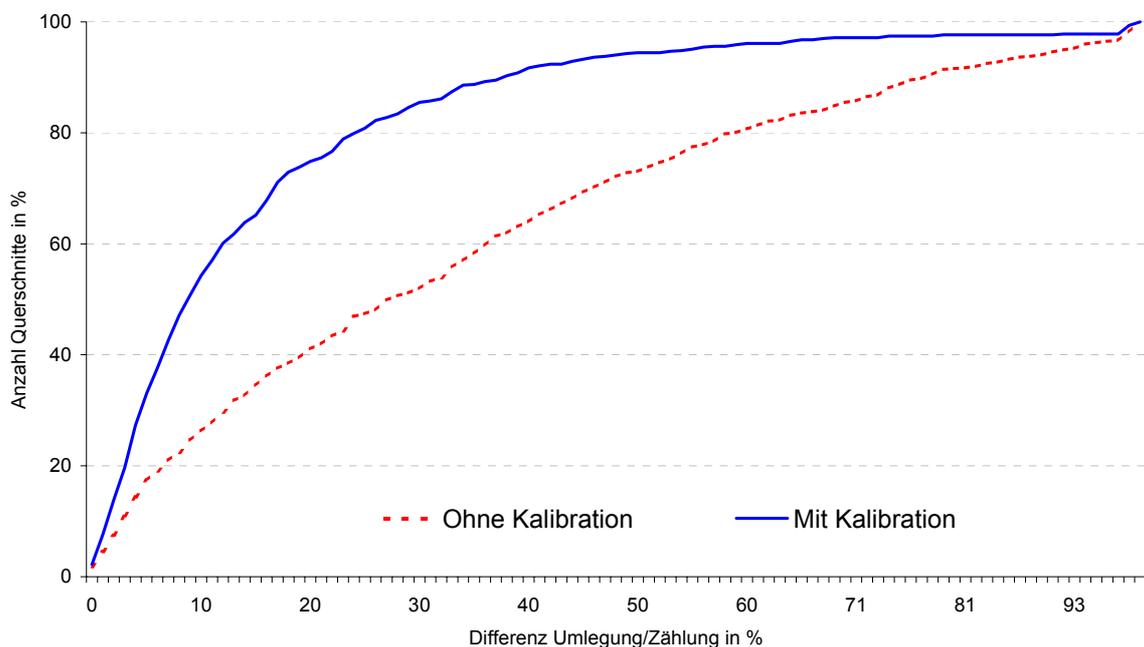
Bei der manuellen Kalibration wurden gezielt die Beziehungen mit einer Reiseweite unter 15 km reduziert und die Beziehungen mit einer Reiseweite über 15 km erhöht. In einem weiteren Schritt wurden die Beziehungen zwischen den 20 grössten Städten entsprechend ihrem Verkehrspotential (auf Grundlage der Einwohnerzahl und der Quell-Ziel Befragungen aus der NFP Untersuchung „Nachfrageabschätzung Swissmetro“; Abay, 1999) verstärkt. Dabei wurden die Randsummen der Ausgangsmatrix beibehalten.

Die so korrigierte Matrix wurde dann mit dem Gleichgewichtsverfahren umgelegt und auf die Streckenbelastungen aus den Querschnittszählungen kalibriert. Für die automatische Kalibration wurde das gleiche Verfahren (Vstrom/Fuzzy Verfahren) wie beim Bahnmodell verwendet.

Durch die Kalibration hat sich die Matrixstruktur verändert, indem der Anteil der kürzeren Fahrten reduziert und derjenige der längeren Fahrten erhöht wurde. Trotzdem haben ca. 80 % der Fahrten eine Reiseweite unter 30 km. Dies ist teilweise auf die sehr detaillierte Zonierung

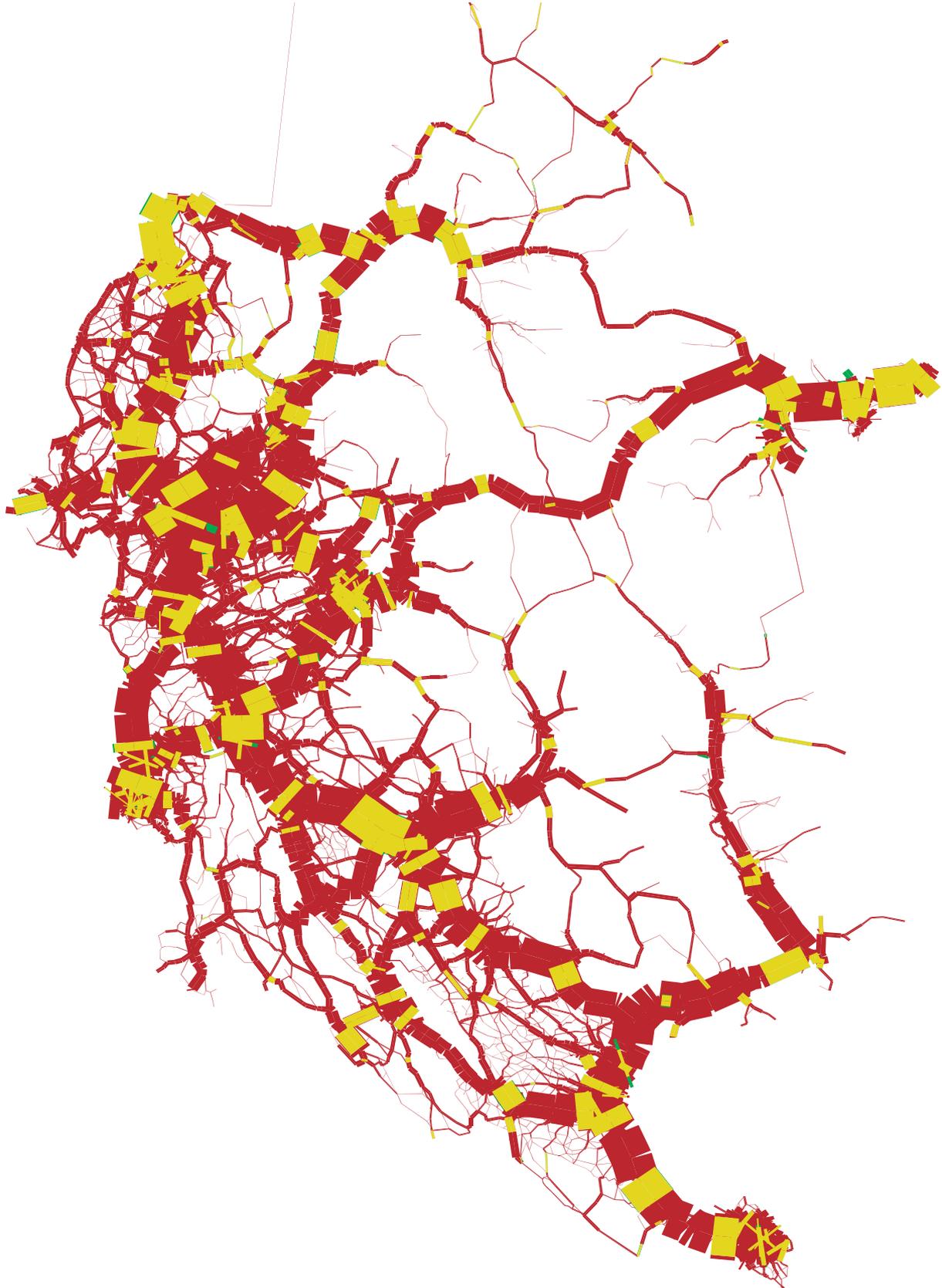
auf Gemeindeebene zurückzuführen. Da ausser den Mikrozensus- und KEP-Daten keine weiteren Erhebungsdaten mit grösseren Stichproben zur Verfügung stehen, kann die Qualität und Struktur dieser Matrix nicht beurteilt werden. In Bezug auf die Querschnittsbelastungen wurde das Modellergebnis durch die Kalibration deutlich verbessert, da die Abweichungen zwischen den Querschnittszählungen und der Umlegung deutlich reduziert wurden (Abbildung 5).

Abbildung 5 Vergleich zwischen Modellquerschnittsbelastungen und Querschnittszählungen (mit und ohne Kalibration) – Strassenverkehr



Insgesamt haben ungefähr 80% der Strecken nach der Kalibration eine Abweichung Modellbelastung/Zählwert unter 20%. Die Abweichungen über 20% sind vor allem bei Querschnitten innerhalb von Agglomerationen festzustellen und sind durch den gezählten aber nicht in der Matrix berücksichtigten intrazonalen Verkehr zu erklären. Aus diesem Grund wurden keine weiteren Matrixkorrekturen durchgeführt, um die Umlegungsergebnisse weiter an die Querschnittsbelastungen auszugleichen. Die Umlegungsergebnisse nach der Kalibration sowie der Vergleich zwischen der Umlegung und den Querschnittszählungen sind in den Abbildung 6 dargestellt.

Abbildung 6 Umlegung mit Kalibration - Strassenverkehr [Vergleich Modell/Zählwerte]



gelb= Grundbelastung, rot= +, grün= -

4 Schätzung der Parameter für das Routen- und Verkehrsmittelwahl Modell

Die Routen- und Verkehrsmittelwahlmodelle werden aus zwei unterschiedlichen Datengrundlagen geschätzt:

- Revealed Preference (RP)
- Stated Preference (SP)

Zusätzlich wird auch eine gemeinsame Schätzung mit RP und SP Daten durchgeführt.

Bei der telefonischen KEP Befragung⁴ (2001) der SBB über das durchgeführten Verkehrsverhalten (RP) wurde auch nach der Bereitschaft für die Teilnahme an einer weiteren schriftlichen SP-Befragung gefragt. Damit wurden die SP-Daten mit einer zweistufigen Befragung erhoben:

- Telefonische KEP Befragung über das durchgeführtem Verkehrsverhalten während einer Woche (RP)
- Schriftliche SP-Befragung auf Grundlage eines im KEP berichteten Weges

4.1 Datenerhebung für die Modellschätzung

Revealed Preference Daten

Für die Schätzung der RP Modelle wurden die zwischen Januar und September 2001 erhobenen KEP Daten verwendet. Die SBB führen jedes Jahr kontinuierliche Erhebungen des Personenverkehr (KEP) durch. Der KEP ist eine telefonische Befragung der Verkehrsteilnehmer über das durchgeführte Verkehrsverhalten während der vergangenen Woche. Sie erfasst das Reiseverhalten der Schweizer Wohnbevölkerung im Alter zwischen 15 und 84 Jahren. In werktäglich durchgeführten telefonischen Interviews wird das Reiseverhalten der vorausgegangenen 7 Tage von rund 16800 Personen im Jahr erfragt. Diese Stichprobe ist für die Grundgesamtheit repräsentativ. Alle Wege (über die Ortsgrenze) ab einer Gesamtdistanz von 3 km und mehr, die mit irgendeinem Verkehrsmittel unternommen wurden, werden nach vielfältigen Kriterien erfasst (Quelle und Ziel, Umsteigen, Wartezeiten, Reisezeiten ÖV, Zugangszeiten zum Bahnhof, Fahrtzweck, PW-Verfügbarkeit, PW-Besitz, Haushaltsgrösse, Beruf, Erwerbstätigkeit, Abonnementbesitz, usw).

⁴ KEP: Kontinuierliche Erhebung Personenverkehr, SBB

Stated Preference Befragung

Die Methoden der Stated Preferences ermitteln mögliche Verhaltensreaktionen der Befragten durch die Vorgabe einer Reihe von Entscheidungssituationen, die verschiedene Alternativen enthalten. Wesentlich ist dabei, dass die Situationen so gewählt werden, dass die relevanten Ausschnitte des Entscheidungsraumes systematisch ausgelotet werden. Der Schwerpunkt dieser Methoden liegt in der Quantifizierung von Wirkungszusammenhängen, die ausserhalb der Reichweite bisheriger qualitativer und quantitativer Methoden liegen (FGSV, 1995; Axhausen und Sammer, 2001).

Die SP-Befragung wurde als stated-choice-Befragung formuliert. Die Stated-Choice-Antwortform verlangt von dem Befragten eine Entscheidung zwischen mehreren vorgegebenen Alternativen. Der Vorteil der Stated-Choice-Form ist, dass sie einfach zu verstehen ist, schnell durchgeführt werden kann und die realen Verhältnisse gut widerspiegelt

Um die Qualität der SP-Befragung zu erhöhen, wird diese auf einer vorherigen Befragung über das durchgeführte Verkehrsverhalten aufgebaut. Bei der hier durchgeführten SP Befragung wird von einem in der KEP berichteten Weg ausgegangen. Betrachtet werden dabei die Wege mit dem PW oder der Bahn. Die Auswahl des Weges (aus allen berichteten Wegen) wurde aufgrund von verschiedenen Kriterien durchgeführt, so dass die SP Stichprobe zur KEP und der Grundgesamtheit repräsentativ ist. Jeder Befragte erhielt zur Einführung die von ihm beschriebene Fahrt mit allen Einflussgrössen bezüglich des gewählten bzw. alternativen Verkehrsmittels (oder der Route) und dann sechs bis acht Situationen, bei denen er sich zwischen Alternativen entscheiden musste. Die SP-Situationen sind so aufgebaut, dass sich die Befragten zwischen zwei dargestellten Alternativen entscheiden müssen. Die Alternativen sind:

- Verkehrsmittelwahl: ÖV (Bahn) oder PW (Auto),
- Routenwahl: Route 1 oder Route 2

Bei der Verkehrsmittelwahl-Befragung wurden für den ÖV sieben und für den PW drei Einflussgrössen definiert. Für die Routenwahl wurden sechs Einflussgrössen berücksichtigt. Dabei wird jede Einflussgrösse mit drei oder vier Ausprägungen variiert.

Die Befragung ist so angelegt, dass bei jeder neuen Situation auch die Einflussvariablen im Vergleich zu der vorherigen oder berichteten Situation neu variiert bzw. geändert wurden. Damit mussten die Befragten bei jeder neuen Situation diese Veränderung durch die Wahl der Alternative beurteilen. Der Befragte soll unter Berücksichtigung der heutigen Verkehrssituation für die beiden Verkehrsmittel bzw. Routen, seine persönlichen Präferenzen zu einzelnen Variablen durch die Verkehrsmittelwahl respektive Routenwahl darstellen. Insgesamt wurden 2'234 Personen befragt, mit einer Rücklaufquote von 68%.

4.2 Modellschätzung

Mit der vorher beschriebenen Datengrundlage (RP und SP) wird im folgenden Schritt versucht, mit geeigneten statistischen Verfahren das Verkehrsverhalten der Verkehrsteilnehmer zu erklären. Dafür wird ein disaggregierter Modellansatz angewendet, der auf der Theorie des individuellen Verhaltens basiert. Betrachtet werden die Wahlentscheidungen bei sich wechselseitig beeinflussenden Alternativen. Für die individuellen Entscheide werden durch die Methode der Nutzenmaximierung eine bestimmte Wahrscheinlichkeit berechnet. Dabei wird für jede Alternative i ein bestimmter Nutzen $V(i)$ berechnet. Durch den berechneten Nutzen (oder die negativen Kosten) kann die Wahrscheinlichkeit ($P_{(i)}$) für die Benutzung einer Alternative bzw. eines Verkehrsmittels mit dem multinomalem Logit-Ansatz ermittelt werden.

Bei dem multinomalem Logit Model (MNL) wird die Auswahlwahrscheinlichkeit der Person n für die Alternative k wie folgt berechnet:

$$P_n(k) = \frac{\exp(V_{kn})}{\sum_{k'} \exp(V_{k'n})} = \frac{\exp(\beta' x_{kn})}{\sum_{k'} \exp(\beta' x_{k'n})} \quad (13)$$

wo x_{kn} und $x_{k'n}$ Vektoren für die Beschreibung der Attribute der Alternativen k und k' sind.

Mit diesem Modell werden die Parameter aus getrennten RP- und SP-Datengrundlagen geschätzt. Bei gemeinsamer Schätzung von Entscheidungsmodellen auf Grundlage von RP- und SP-Daten wurde das nested-logit-Modell (NL) angewendet.

Die Schätzung der Parameter wird mit Hilfe des Maximum-Likelihood-Verfahrens⁵ durchgeführt. Es wurde die Standard-Software „LIMDEP“ (Econometric Software, 1998)) verwendet. Mit dieser Software werden für alle unabhängige Variablen die Modell-Parameter (β -Parameter) geschätzt, mit denen in der Folge der Nutzen dieser Alternative ermittelt wird. Die hier ermittelten Parameter, differenziert nach Variablen und Verkehrsmitteln, werden dann bei der Verkehrsprognosen in das Verkehrsmittelwahl- bzw. Routenwahlmodell implementiert.

⁵ Die Maximum-Likelihood-Schätzung ist ein Verfahren, um die Parameter eines probabilistischen Modells, wie z.B. des Logitmodells, so zu bestimmen, dass die beobachteten Entscheidungen mit grösster Wahrscheinlichkeit reproduziert werden.

4.2.1 Modellergebnisse – Verkehrsmittelwahl

SP - Modellparameter

Die Modellparameter wurden mit und ohne Berücksichtigung des Fahrtzwecks geschätzt. Die Ergebnisse der SP-Schätzung für das MNL Modell sind in Tabelle 2 dargestellt. Die geschätzten Modellparameter zeigen das richtige Vorzeichen und sind vergleichbar mit Untersuchungen in anderen Ländern (Abay und Axhausen, 2001). Von den Angebotsvariablen sind Zugangszeit und Fahrzeit die zwei für die Verkehrsmittelwahl wichtigsten Variablen. Da die Zugangszeiten in der Regel kürzer sind als die Fahrzeiten, sind die geschätzten Modellparameter für diese Variable höher. Relativ unbedeutend im Vergleich mit anderen Variablen ist die Verlässlichkeit. Neben der Reisezeit ist für die PW-Benutzer die Autoverfügbarkeit und für die ÖV-Benutzer der Abonnementbesitz die entscheidende Variable.

Tabelle 2 Verkehrsmittelwahl: Ergebnisse der SP-Schätzung (MNL)

Variable	Modell Parameter (β)				
	Alle Fahrtzwecke	Pendler	Geschäft	Einkauf	Freizeit/ Urlaub
PW					
Konstante	0.185 *	-0.839 *	0.287 *	0.137 *	0.445 *
Fahrzeit	-1.383 *	-2.916 *	-1.858 *	-3.189 *	-1.236 *
Preis	-0.050 *	-0.191 *	-0.025 *	-0.126 *	-0.049 *
Verlässlichkeit	-0.006		-0.017		-0.005
PW-Verfügbarkeit	0.828 *	1.118 *	1.153 *	1.257 *	0.715 *
ÖV					
Fahrzeit	-0.921 *	-1.661 *	-1.390 *	-2.014 *	-0.817 *
Preis	-0.050 *	-0.191 *	-0.025 *	-0.126 *	-0.049 *
Zugangszeit	-2.493 *	-3.354 *	-2.023	-4.489 *	-1.946 *
Verlässlichkeit	-0.005		-0.015		-0.005
Intervall	-0.414 *	-0.868 *	-0.591 *	-0.387 *	-0.321 *
Umsteigezahl	-0.378 *	-0.502 *	-0.524 *	-0.492 *	-0.351 *
Komfort IR-Doppelstock	0.146 *	0.188 *	0.032	0.389 *	0.127
Komfort IC/EC	0.314 *	0.330	0.023	0.397 *	0.339 *
Komfort ICN	0.246 *	0.448 *	0.353	0.196	0.209 *
Männlich	0.046	0.191	-0.994 *	0.295 *	-0.075
Alter	0.007 *	0.001	0.035 *	0.010 *	0.007 *
GA Besitz	1.657 *	0.801 *	1.752 *	1.193 *	1.787 *
Halbtax Besitz	1.001 *	0.894 *	0.874 *	1.036 *	1.028 *
Erwerbstätig	-0.064	-0.094 *			-0.131 *
Anzahl Beobachtungen	9027	1080	650	1181	6116
Adj Pseudo R ²	0.252	0.247	0.270	0.398	0.237
Log-likelihood Function	-4671	-555	-320	-494	-3224

(*) $\alpha < 0.10$

Wegen der Korrelation zwischen der Umsteigezahl und der Umsteigezeit wurde die SP-Befragung nur mit einer Variable, der Umsteigezahl, durchgeführt. Dabei ist anzunehmen, dass die Befragten bei der vorgegebenen Umsteigezahl erfahrungsgemäss auch eine minimale Umsteigezeit berücksichtigt haben. Hier wird ein Umsteigen mit ca. 20 min. zusätzlicher Fahrzeit bewertet und zeigt sich beim Vergleich zwischen den Fahrzwecke relativ stabil. Die geschätzten Modellparameter für den Komfort zeigen, wie gross die Zahlungsbereitschaft für diese Variable im Vergleich zu der schlechtesten Zugskategorie (in diesem Fall der Regionalzug, ohne Klimaanlage und Speisewagen) ist. Es zeigt sich, dass das Intervall vor allem für die Pendlerfahrten (Arbeit und Ausbildung) bedeutend ist.

Tabelle 3 Verkehrsmittelwahl: Relative Bewertung der Einflussgrössen⁶ (SP Schätzung)

	Alle Fahrzwecke	Pendler	Geschäft	Einkauf	Freizeit / Urlaub
Zeitwert PW-Fahrzeit [CHF/h]	27.7	15.2	74.6	25.3	25.3
Zeitwert ÖV-Fahrzeit [CHF/h]	18.5	8.7	55.8	16.0	16.7
Zeitwert Intervall [CHF/h]	8.3	4.5	23.7	3.1	6.6
Umsteigewert [CHF/Umsteige]	7.6	2.6	21.0	3.9	7.2
Verlässlichkeit PW* [CHF/Wahrsch.%]	0.1		0.7		0.1
Verlässlichkeit ÖV* [CHF/Wahrsch.%]	0.1		0.6		0.1
Komfort IR-Doppelstock [CHF]**	2.9	1.0	1.3	3.1	2.6
Komfort IC/EC [CHF]**	6.3	1.7	0.9	3.2	6.9
Komfort ICN [CHF]**	4.9	2.3	14.2	1.6	4.3
<i>Relative Verhältnisse der Parameter</i>					
Fahrzeit PW / ÖV	1.5	1.8	1.3	1.6	1.5
Verlässlichkeit PW / ÖV	1.2		1.1		1.2
Umsteigezahl / Fahrzeit ÖV [min./Umsteigen]	24.6	18.1	22.6	14.6	25.8
Intervall / Fahrzeit ÖV	0.4	0.5	0.4	0.2	0.4
Zugangszeit ÖV / Fahrzeit ÖV	2.7	2.0	1.5	2.2	2.4
(*) Wahrscheinlichkeit für eine Verspätung von min. 10 min.					
(**) Im Vergleich mit dem Regionalzug (Nahverkehrszug)					

⁶ Die relative Bewertung der Einflussgrössen ergibt sich aus dem Verhältnis der entsprechenden Modellparameter: $VOT = \frac{\beta_{Fahrzeit}}{\beta_{Preis}} \cdot \left[\frac{1}{Fahrzeit} \frac{Preis}{1} = \frac{Preis}{Fahrzeit} \right]$. Der Zeitwert im MIV wird z. B. aus dem Verhältnis der Fahrzeitparameter und dem Preisparameter $(-1.383 / -0.005 = 27.7 \text{ CHF/h})$ berechnet.

Bemerkenswert ist, dass die ICN Züge als neuste Kategorie nur bei Geschäftsreisenden und Pendlern als die beste beurteilt wird. Eine Ursache könnte eine nicht genügende Kenntnis der ICN Züge bzw. fehlendes Vertrauen in diese seitens der Befragten sein (diese wurden erst im Juni 2001 in Betrieb genommen). Wie schon in bisherigen Untersuchungen, zeigen die PW Benutzer einen höheren Zeitwert als die ÖV Benutzer.

Die Preisparameter liegen im erwarteten Rahmen; höher bei den Pendlern und beim Einkauf als bei Geschäft und Freizeit/Urlaub. Dies entspricht einer höheren Zahlungsbereitschaft bei den Fahrtzwecken Geschäft bzw. Freizeit/Urlaub als bei anderen Fahrtzwecken. Relativ hohe Zeitkostensätze (Tabelle 3) für Freizeit und Urlaub sind durch die hier längeren Fahrten als für den Freizeitverkehr typisch sind und einen grösseren Anteil der Urlaubsfahrten zu erklären. Bei den Pendlern ist infolge regelmässiger und alltäglicher Werktagsfahrten die Zahlungsbereitschaft niedriger. Erwartungsgemäss sind die Zeitwerte bei Geschäftsreisenden deutlich höher als bei anderen Fahrtzwecken. Relativ ähnliche Bedeutung für ÖV und PW hat die Wahrscheinlichkeit für eine Verspätung, dies obwohl bei den zugrunde liegenden Parameter eine Signifikanz fehlt. Ein Vergleich der Modellparameter der Zugangszeit ÖV und der Fahrzeit ÖV zeigt, dass eine gleiche absolute Veränderung dieser zwei Einflussgrössen zu einer 2.7 mal höheren Bewertung (d.h. Bedeutung) der Zugangszeit (pro min.) führt.

Nachfrageelastizitäten

Für alle berechneten Modellparameter wurden auch die Elastizitäten berechnet⁷ (Tabelle 4). Durch die gezielten Variationen werden die Mittelwerte der SP-Variablen gegenüber dem Ausgangsweg bzw. der RP-Variable verändert. Zusätzlich wurden für die SP-Befragung aus den berichteten Wegen vor allem die längeren Wege als Ausgangswege gewählt. Aus dem Vergleich der SP- und RP-Datenbasis (nur Wege über 10km) wurde festgestellt, dass vor allem bei den Fahrtzwecken Freizeit/Urlaub und Geschäft die mittleren Reisezeiten und Preise bei der SP-Befragung etwas höher sind als bei den RP-Daten. Aus diesem Grund wurden die Nachfrageelastizitäten auf der Basis der ermittelten SP-Modellparameter und aus dem, mittels der KEP-Befragung berechneten Mittelwert der Angebotsvariablen, berechnet.

$${}^7 \text{ Eigenelastizität} = \frac{\text{Veränderung} - \text{Anteil}[\%]}{\text{Veränderung} - \text{Variable}[\%]} = \frac{\frac{(P_j^1 - P_j^0)}{P_j^0}}{\frac{(X_j^1 - X_j^0)}{X_j^0}} = \frac{\frac{\partial P_j}{P_j}}{\frac{\partial X_j}{X_j}} = \frac{\partial P_j}{\partial X_{kj}} \frac{X_{kj}}{P_j} = \beta_{kj} P_j (1 - P_j) \frac{X_{kj}}{P_j} = \beta_{kj} (1 - P_j) X_{kj}$$

Kreuzelastizität = $-\beta_{ki} P_i X_{ki}$, wobei P_j die Wahrscheinlichkeit für die Alternative j und X_k die Einflussgrössen sind.

So werden die geschätzten SP-Elastizitäten auf den Mittelwert der durchgeführten „Verkehrsverhalten“ angepasst. Diese sind für die Wege mit einer Reiseweite von über 10 km gültig. Berechnet werden die Elastizitäten nur für die Variablen, die beim RP-Modell erfasst wurden. Die Elastizitäten für Verlässlichkeit und Komfort wurden nur auf Grundlage der SP-Daten berechnet.

Die berechneten Nachfrageelastizitäten bestätigen die Bedeutung der einzelnen Einflussfaktoren, die sich in der Analyse der Modellparameter zeigten. Die Ergebnisse stimmen weitgehend mit den neusten Untersuchungen zu diesem Thema (Vrtic et al., 2000, Hague Consulting Group, 1999) überein.

Tabelle 4 Verkehrsmittelwahl: Nachfrageelastizitäten (Reiseweite > 10 km)

Variablen- Veränderung	Nachfrage	Alle Fahrt- zwecke	Pendler	Geschäft	Einkauf	Freizeit / Urlaub
Aus SP-Modellparameter und RP-Variablenmittelwert berechnete Nachfrageelastizitäten						
Reisezeit PW	PW	-0.425	-0.665	-0.680	-0.545	-0.530
	ÖV	0.671	0.776	1.531	1.008	0.937
Preis PW	PW	-0.121	-0.312	-0.076	-0.156	-0.174
	ÖV	0.191	0.365	0.171	0.288	0.308
Fahrzeit ÖV	PW	0.365	0.480	0.615	0.460	0.456
	ÖV	-0.575	-0.560	-1.386	-0.850	-0.805
Preis ÖV	PW	0.157	0.435	0.092	0.223	0.217
	ÖV	-0.247	-0.508	-0.206	-0.412	-0.383
Zugangszeit	PW	0.172	0.272	0.111	0.279	0.127
	ÖV	-0.272	-0.318	-0.249	-0.515	-0.224
Intervall	PW	0.144	0.320	0.154	0.121	0.116
	ÖV	-0.227	-0.374	-0.346	-0.224	-0.205
Umsteigezahl	PW	0.115	0.133	0.151	0.101	0.134
	ÖV	-0.181	-0.156	-0.339	-0.186	-0.237
Nur aus SP Daten berechnete Nachfrageelastizitäten						
Verlässlichkeit PW*	PW	-0.024		-0.064		-0.024
	ÖV	0.049		0.146		0.044
Verlässlichkeit ÖV*	PW	0.016		0.050		0.015
	ÖV	-0.035		-0.114		-0.030
Komfort IR **	PW	-0.012	-0.014	-0.002	-0.024	-0.011
	ÖV	0.025	0.030	0.006	0.076	0.021
Komfort IC/EC**	PW	-0.027	-0.030	-0.002	-0.024	-0.032
	ÖV	0.051	0.056	0.004	0.073	0.053
Komfort ICN**	PW	-0.020	-0.042	-0.027	-0.010	-0.018
	ÖV	0.040	0.071	0.053	0.039	0.034

(*) Wahrscheinlichkeit für eine Verspätung von min. 10 min.

(**) Im Vergleich mit dem Regionalzug (Nahverkehrszug)

RP - Modellparameter

Bei der Schätzung der Modellparameter aus RP Daten müssen wegen der starken Korrelation zwischen den Preis- und Zeitvariablen, welche die Schätzung der Modellparameter beeinträchtigen würde, zwei getrennte Modelle geschätzt werden: ein Zeitmodell und ein Preismodell. Dabei beinhaltet das Zeitmodell keine Preisvariablen und umgekehrt. Da in früheren RP-Untersuchungen (Vrtic und Axhausen, 2000) als auch aus den SP-Schätzungen eine niedrigere Bedeutung der Preisvariablen für die Verkehrsmittelwahl im Vergleich mit der Zeitvariable gezeigt wurde, wird hier für die RP Daten nur ein Zeitmodell geschätzt. Die Ergebnisse der RP Schätzungen sind in der Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5 Verkehrsmittelwahl: Ergebnisse der RP-Schätzung (MNL)

Variable	Modell Parameter (β)				
	Alle Fahrtzwecke	Pendler	Geschäft	Einkauf	Freizeit/ Urlaub
PW					
Konstante	-1.915 *	-3.834 *	-0.905 *	-0.967 *	-0.322 *
Fahrzeit	-1.999 *	-3.896 *	-2.004 *	-2.175 *	-1.293 *
PW-Verfügbarkeit	1.771 *	2.220 *	1.368 *	1.776 *	1.499 *
ÖV					
Fahrzeit	-0.962 *	-2.245 *	-1.029 *	-0.796 *	-0.439 *
Zugangszeit	-3.576 *	-5.557 *	-2.371 *	-4.428 *	-1.894 *
Intervall	-1.153 *	-1.366 *	-1.453 *	-0.998 *	-0.915 *
Umsteigezahl	-0.482 *	-0.197 *	-0.276 *	-0.434 *	-0.648 *
Selbständig	-0.598 *	-1.437 *	0.319	-0.326	-0.226 *
Männlich	-0.178 *	-0.430 *	-0.724 *	-0.061	-0.105 *
Alter	-0.020 *	-0.022 *	-0.017 *	-0.021 *	-0.005 *
GA Besitz	2.787 *	2.911 *	3.530 *	2.657 *	2.642 *
Halbtax Besitz	1.177 *	0.706 *	2.067 *	1.597 *	1.630 *
Erwerbstätig	-0.501 *	-1.275 *		-0.962 *	-0.406 *
Anzahl Beobachtungen	46051	22016	1363	6854	15818
Adj Pseudo R ²	0.477	0.522	0.394	0.653	0.438
Log-likelihood Function	-16675	-7295	-568	-1647	-6158

(*) $\alpha < 0.10$

Bei den hier geschätzten Parametern ist, wie auch beim SP Modell, festzustellen, dass die Reisezeitkomponenten (Zugangszeit und Fahrzeit) für die Verkehrsmittelwahl die wichtigsten Variablen sind. Bestätigt wurde auch eine höhere Bewertung der Fahrzeit durch PW-Nutzer gegenüber ÖV-Nutzer. Zusätzlich zu der Reisezeit ist für den ÖV der Abonnementbesitz auch hier eine sehr wichtige Variable. Unerwartet niedrig sind im Vergleich mit anderen Fahrtzwecken die Fahrzeitparameter für den Fahrtzweck Freizeit/Urlaub (sowohl bei PW als auch bei

ÖV). Dies ist vor allem auf einen höheren Anteil längerer Fahrten bei diesem Fahrzweck zurückzuführen. Das führte auch zu einer sehr hohen Bewertung der Umsteigezahl im Verhältnis zur Fahrzeit.

Zusätzlich wurde auch ein gemeinsames RP- und SP Verkehrsmittelwahl-Modell geschätzt (siehe Technischer Bericht⁸).

4.2.2 Modellergebnisse – Routenwahl

Die Parameter für das ÖV-Routenwahlmodell wurden auch mit dem MNL Modell geschätzt. Die Schätzung dieser Parameter gibt eine Grundlage für das Umlegungsmodell. Wie bei der Verkehrsmittelwahlschätzung wurden auch hier die Modelle mit und ohne Berücksichtigung der Fahrtzwecke ermittelt. Die Ergebnisse der SP-Schätzung sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6 Ergebnisse der SP-Schätzung für das Routenwahlmodell (MNL)

Variable	Modell Parameter (β)					
	Alle Fahrtzwecke	Pendler	Einkauf	Freizeit/Urlaub	Geschäft (1)	Geschäft (2)
ÖV						
Konstante	0.233 *	0.224 *	0.364 *	0.203 *	0.278 *	0.270 *
Fahrzeit	-2.398 *	-5.524 *	-4.250 *	-2.079 *	-3.665 *	-4.320 *
Preis	-0.140 *	-0.466 *	-0.211 *	-0.132 *	-0.070 *	
Intervall	-0.622 *	-1.650 *	-0.859 *	-0.473 *	-0.073	-0.258
Umsteigezahl	-0.749 *	-0.708 *	-0.416 *	-0.782 *	-0.315 *	-0.425 *
Umsteigezeit	-1.174 *	-3.608 *	-5.271 *	-0.858 *	-3.072 *	-3.015 *
Komfort IR-Doppelstock	0.493 *	0.567 *	0.859 *	0.481 *	0.189	0.227
Komfort IC/EC	0.580 *	0.546 *	0.611 *	0.559 *	0.553 *	0.642 *
Komfort ICN	0.664 *	0.865 *	0.821 *	0.604 *	0.194	0.389
N – Beobachtungen	7964	1133	802	5370	659	659
Adj Pseudo R ²	0.104	0.138	0.106	0.094	0.139	0.18
Log-likelihood Function	-4943	-671	-491	-3365	-393	-374

(*) $\alpha < 0.10$, (1) Preisvariable auf Grundlage des relativen Verhältnisses der Zeit- und Preisparameter beim Verkehrsmittelwahlmodell geschätzt, (2) Ohne Berücksichtigung der Preisvariable

Die hier geschätzten Modellparameter für die Routenwahl zeigen eine relativ ähnliche Bedeutung der Variablen, wie bei der Verkehrsmittelwahl. Die geschätzten Modellparameter haben das richtige Vorzeichen und sind, mit Ausnahme einiger Variablen beim Geschäftsverkehr,

⁸ Der Technische Bericht kann auf Anfrage beim ARE oder den SBB eingesehen werden.

signifikant. Wegen der starken Korrelation zwischen der Zeit- und der Preisvariable, wurde der Preisparameter für den Geschäftsverkehr auf Grundlage der relativen Verhältnisse der Parameter beim Verkehrsmittelwahlmodell geschätzt. Die so ermittelten Preisparameter wurden dann als konstanter Wert in der Nutzenfunktion verwendet. Wie aus der Tabelle 6 zu sehen ist, konnten trotzdem nicht alle Parameter beim Geschäftsverkehr mit genügender Signifikanz ermittelt werden (z.B. Intervall).

Die entscheidende Variable für die Routenwahl ist, wie erwartet, die Fahrzeit. Als weitere wichtige Variable zeigt sich die Umsteigezeit. Die Dauer der Wartezeit beim Umsteigen wird höher bewertet als die Umsteigehäufigkeit. Ähnlich wie bei den Schätzungen der Verkehrsmittelwahl wird der Komfort (alle Fahrtzwecke) bei IC/EC Zügen höher bewertet als bei ICN Zügen. Als relativ unbedeutend zeigte sich die Preisvariable. Es ist aber zu bemerken, dass die hier ermittelten Modellparameter für die Preisvariable höher sind als bei der Schätzung des Verkehrsmittelwahlmodells. Dies ist vor allem durch eine niedrigere Zahlungsbereitschaft der ÖV Benutzer gegenüber den PW Benutzer zu erklären.

Die berechneten Zeitwerte unterscheiden sich nicht sehr von den berechneten Zeitwerten aus der Verkehrsmittelwahlmodell. Dies ist eine Bestätigung dafür, dass die Einflussgrößen bei den Entscheidungen unabhängig von der Entscheidungsebene bewertet werden. Das Verkehrsangebot mit Direktverbindungen (ohne Umsteigen) wird höher bewertet als die Fahrplandichte (Intervall).

Tabelle 7 Routenwahl: Relative Bewertung der Einflussgrößen (SP Schätzung)

	Alle Fahrzwecke	Pendler	Einkauf	Freizeit/ Urlaub	Geschäft
Zeitwert ÖV-Fahrzeit [CHF/h]	17.1	11.9	20.1	15.8	52.4
Zeitwert Intervall [CHF/h]	4.4	3.5	4.1	3.6	1.0
Zeitwert Umsteigezeit [CHF/h]	8.4	7.7	25.0	6.5	43.9
Umsteigewert [CHF/Umsteigen]	5.4	1.5	2.0	5.9	4.5
Komfort IR-Doppelstock [CHF]*	3.5	1.2	4.1	3.6	2.7
Komfort IC/EC [CHF]*	4.1	1.2	2.9	4.2	7.9
Komfort ICN [CHF]*	4.7	1.9	3.9	4.6	2.8
<i>Relative Verhältnisse der Parameter</i>					
Umsteigezahl / Fahrzeit ÖV [min/Umsteigen]	18.7	7.7	5.9	22.6	5.2
Umsteigezeit / Fahrzeit ÖV	0.5	0.7	1.2	0.4	0.8
Intervall / Fahrzeit ÖV	0.3	0.3	0.2	0.2	0.02
(*) Im Vergleich mit dem Regionalzug (Nahverkehrszug)					

Obwohl der Fahrzeitparameter bei den Pendlern höher ist als beim Einkauf und Freizeit/Urlaub, ist die Zahlungsbereitschaft bei diesem Fahrzweck (Tabelle 7) niedriger als bei allen anderen Fahrzwecken. Dies bestätigt, dass die Reisezeit bei diesem Fahrzweck eine sehr wichtige Variable ist, er aber wegen einer höheren (werktäglichen) Fahrhäufigkeit nicht eine hohe Zahlungsbereitschaft erlaubt. Wie erwartet ist der Zeitwert für die Fahrzeit und die Umsteigezeit bei Geschäftsreisenden deutlich höher als bei anderen Fahrzwecken. Die Komfortparameter sind als erhöhte Zahlungsbereitschaft im Vergleich mit dem Regionalzug zu interpretieren. Der hohe Umsteigezeitwert für den Einkauf ist vor allem auf die Bedeutung des Gepäcktransports und niedrigere Preisparameter zurückzuführen.

Es wurde auch ein gemeinsames Routen- und Verkehrsmittelwahl Modell geschätzt (siehe Technischer Bericht).

5 Verkehrsprognosen

Die Verkehrsprognosen konzentrieren sich, wie in Kapitel 1 schon gezeigt wurde, auf die Schätzung der Verkehrsmittel- und Routenwahländerungen infolge von betrachteten Angebotsveränderungen. Entsprechend zu den im Kapitel 2 beschriebenen Angebotsveränderungen werden die Nachfrageeffekte für einzelne wie auch für Gruppen von Angebotsmassnahmen analysiert. Die Varianten wurden, wie in Tabelle 8 dargestellt, definiert:

Tabelle 8 Definition der Angebotsvarianten

Angebots- veränderungen	Nur Strasse	ICN	IR Basel- Genf A.	IR Zürich - Biel	“Plateau”
S1	✓				
B1		✓			
B2			✓		
B3				✓	
B4		✓	✓	✓	
B5					✓
B6		✓	✓	✓	✓
BS	✓	✓	✓	✓	✓

Um die beobachteten Nachfrageveränderungen im betrachteten Zeitraum beurteilen zu können, ist es nötig, neben der vom Verkehrsangebot verursachten Nachfrageveränderung auch den Einfluss von sozio-demographischen und wirtschaftlichen Veränderungen zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wird in einem ersten Schritt für die beiden Verkehrsträger ein angebotsunabhängiges Nachfragewachstum zwischen dem Ist-Zustand 1999 bzw. Fahrplan 1999/2000 und Prognose-Zustand 2001 bzw. Fahrplan 2001/2002 prognostiziert. Auf der Grundlage der vorhandenen Datenbasis wurden dafür entsprechende Modelle für Strassen- und Schienenverkehr geschätzt. Da diese Daten nicht regional differenziert sind, wurde nur ein gesamtschweizerisches Modell geschätzt. Für den Schienenverkehr wurde ein angebotsunabhängiges Wachstum (Personenfahrten) von 4.80% und für den Strassenverkehr von 4.69% berechnet (siehe auch Maggi und Rossera, 2003).

Mit diesen Wachstumsfaktoren wurden die kalibrierten Quell-Ziel-Matrizen des Jahres 1999 auf das Jahr 2001 hochgerechnet. Die aus den Angebotsmassnahmen resultierenden Nachfrageveränderungen (für das Jahr 2001) werden in drei Schritten quantifiziert:

- Umlegung und Routenwahl-Veränderungen
- Berechnung der Verkehrsmittelwahl-Änderungen
- Gesamte Veränderungen der Querschnittsbelastungen

Die durch die Massnahmen verursachten Routenwahl-Veränderungen werden mit Hilfe der Umlegungsmodelle ermittelt. Die Umlegungen werden mit den genau gleichen Verfahren und Umlegungsparametern durchgeführt wie bei der Abbildung des Ist-Zustandes 1999. Neben den Routenwahl-Veränderungen werden mit der Umlegung auch die Quell-Ziel bezogenen Mittelwerte für Fahrzeit, Reisekosten, Intervall, Umsteigezahl, Umsteigezeit, Zugkategorien usw. für das Verkehrsmittelwahlmodell berechnet. Diese Variablen werden sowohl für den Ist-Zustand als auch für alle betrachteten Prognosefälle berechnet.

5.1 Verkehrsmittelwahl Veränderungen

Die Verkehrsmittelwahl-Veränderungen werden mit drei verschiedenen Ansätzen ermittelt:

- Multinomiales Logit Modell (MNL) mit den Parametern aus der Stated-Preference Befragung
- Multinomiales Logit Modell mit den Parametern aus der Revealed Preference Daten (KEP)
- Elastizitäten aus der SVI- Studie „Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr“ (Vrtic *et al.*, 2000)

Das MNL Modell wird als ein Pivot-point-Modellansatz (Ortuzar und Willumsen, 1995) verwendet. Die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für die Verkehrsmittelwahl infolge der Angebotsveränderungen erfolgt in zwei Schritten:

- Berechnung des neuen Nutzens der einzelnen Verkehrsmittel mit verändertem Verkehrsangebot anhand der Modellparameter und der neuen Variablenwerte
- Berechnung der Veränderungen in der Verkehrsmittelwahl und daraus folgender Quell-/Ziel-Matrix für den Planfall.

Der Ansatz hat folgende Form:

$$P'_k = \frac{P_k^0 * e^{(V_k - V_k^0)}}{\sum_i P_i^0 * e^{(V_i - V_i^0)}}$$

wobei:

$(V_k - V_k^0)$ Nutzenänderung für Verkehrsmittel k

P'_k Anteile für Verkehrsmittel k im Planfall

P_k^0 Anteile für Verkehrsmittel k im Referenzfall (aus Quell-/Ziel-Matrix) gemäss:

$$P_k^0 = \frac{F_k(o,d)}{\sum_{i=1}^n F_i(o,d)}$$

$F_k(o,d)$ = Anzahl Fahrten zwischen Quelle o und Ziel d

k = betrachtetes Verkehrsmittel

n = Anzahl berücksichtigte Verkehrsmittel

Da das Strassen- und Schienen Modell im Ist-Zustand mit zwei unterschiedlichen Zonenaufteilungen kalibriert wurde, mussten für die Berechnungen diese Modelle auf eine einheitlichen Zonierungsebene aggregiert werden. Dafür wurde eine gemeinsame Zonierung mit 698 Zonen erstellt (sog. Bahnhofszonen). Die Verlagerungseffekte werden auf vier unterschiedlichen Ebenen analysiert:

- Gesamte Schweiz
- ICN-Korridor
- Wichtige Quell-Ziel Beziehungen
- Querschnittsbelastungen

Modellergebnisse – Gesamte Nachfrageveränderungen

In diesem Arbeitsschritt werden die Veränderungen der Anteile bzw. der gesamten Anzahl Fahrten und Querschnittsbelastungen im Schienen- und Strassenverkehr analysiert. Unter Berücksichtigung der gesamten Quell-Ziel-Matrix, führen die Angebotsveränderungen mit Anwendung der drei Prognosemethoden zu den in Tabelle 9 (Schienenverkehr) und Tabelle 10 (Strassenverkehr) dargestellten Nachfrageveränderungen. Die betrachteten Veränderungen beziehen sich nur auf die modalen Verlagerungen zwischen Schienen- und Strassenpersonenverkehr.

Hier ist zu sehen, dass die Einführung von ICN (Variante B1) zu einer Erhöhung der Nachfrage im Schienenpersonenverkehr bei SP Methode von 3251 Fahrten pro Werktag führt (0.42%). Bei diesem Effekt werden die Angebotsveränderungen im Strassenverkehr nicht berücksichtigt. Die weiteren (einzelnen) Massnahmen B2 (IR Basel-Genève Aéroport), B3 (IR Zürich-Biel) und B5 (Angebotsveränderungen via „Plateau“) zeigen keine bedeutenden Verkehrsmittelwahl Veränderungen. Die unter Berücksichtigung aller betrachteten Angebotsveränderungen im Strassen- und Schienenverkehr (Variante BS) verursachten Nachfrageveränderungen, führen insgesamt zu einer Erhöhung der Nachfrage im Schienenverkehr um 2'231 Fahrten pro Werktag. Dies entspricht einer Veränderung der Quell-Ziel-Matrix um 0.29%. Durch die Angebotsveränderungen im Strassenverkehr erhöht sich die Anzahl der Fahrten im Strassenverkehr (bzw. reduziert im Schienenverkehr) um 1034 Fahrten. Durch die weitere Berücksichtigung der Massnahmen im Schienenverkehr, verliert der Strassenverkehr insgesamt 2'231 Fahrten pro Tag.

Aus der Analyse der Modellergebnisse mit Anwendung der RP Methode wurde festgestellt, dass die durch die Einführung von ICN erreichten Nachfrageerhöhungen im Schienenverkehr nicht genügend gross sind, um die Nachfrageverluste bei anderen Quell-Ziel Beziehungen zu decken. Die Nachfrageerhöhungen sind vor allem bei den Beziehungen entlang der Achse Zürich-Olten-Solothurn-Biel-Neuchatel-Yverdon festzustellen. Auf der anderen Seite wurden

auf der Strecke via Plateau durch verschlechterte Intervalle und hohe Modellparameter gegenüber dem Fahrplan 99/00 Nachfrageverluste berechnet. Diese Effekte resultieren vor allem aus den Angebotsveränderungen einer unterschiedlich verteilten Verkehrsnachfrage über den einzelnen Linien bzw. dem daraus berechneten, mittleren Intervall und einer nicht plausibel hohen Bewertung des Intervalls in der Nutzenfunktion. Das mittlere Intervall einer Quell-Ziel-Beziehung wird in Abhängigkeit der Bedingungshäufigkeit und der Belastungen der gewählten Linien ermittelt.

Tabelle 9 Nachfrageveränderungen im Schienenpersonenverkehr (gesamte Matrix)

Variante [Bahn Matrix - DWV]	Anzahl Fahrten [Ist-Zustand]	Absolute Veränderung- SP [Fahrten]	Absolute Veränderung- RP [Fahrten]	Absolute Veränderung- EL [Fahrten]
Fahrplan 99/00	742'819			
Fahrplan 2001/2002 ohne Angebotsveränderungen	778'616			
B1 (Einführung ICN)		3251	-561	3460
B2 (IR Basel-Geneve A.)		55	-212	328
B3 (IR Zürich-Biel)		550	-126	724
B4 (B1+B2+B3)		3513	-1'558	3170
B5 („Plateau“)		756	-2'539	-856
B6 (alle Bahn Massnahmen)		3265	-6'211	832
BS (Bahn und Strasse)		2231	-7'668	

SP – Stated Preference, RP – Revealed Preference, EL – Klassische Elastizitäten

Da für die Anwendung der Elastizitäten nur direkte Elastizitäten zur Verfügung stehen, konnte die Variante BS unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Bahn- und Strassenmassnahmen nicht betrachtet werden. Für diese Variante müssten Kreuzelastizitäten angewendet werden, die aus früheren Untersuchungen nicht vorhanden waren. Die Anwendung von Elastizitäten zeigt bei der Einführung von ICN (3460 zusätzliche Bahnfahrten) eine relativ ähnliche Wirkung wie die Anwendung von SP-Modellparameter (3251 Fahrten). Da ÖV-Reisezeit-Elastizitäten ähnlich sind wie die aus SP-Parameter berechneten Elastizitäten, wird die Nichtberücksichtigung des Komforts und der Umsteigezahl hier durch eine höhere Elastizität des Intervalls teilweise kompensiert. Die Angebotsveränderungen via „Plateau“ (nur Intervallveränderungen) führen insgesamt zu einem Nachfrageverlust im Schienenverkehr. Der Grund liegt vor allem bei den Elastizitätswerten und der relativen Betrachtung der Veränderungen bei der Anwendung von Elastizitäten. Der Einfluss des Intervalls aus der Variante B5 zeigt seine Auswirkungen auch in Variante B6 (alle Bahnmassnahmen), so dass die gesamte Nach-

frageerhöhung deutlich kleiner ist als bei der Anwendung der SP-Parameter und auch gegenüber der Variante B1. Der Nachteil der relativen Betrachtung zeigte sich auch bei der Schätzung von Nachfrageauswirkungen im Strassenverkehr. Obwohl hier eine kleinere Elastizität angewendet wurde, sind die Nachfrageveränderungen grösser als bei der Anwendung der SP-Modellparameter. Dies ist vor allem auf relativ kleine Werte der Variable (hier Reisezeit) und damit grössere relative Veränderungen zurückzuführen.

Tabelle 10 Nachfrageveränderungen im Strassenpersonenverkehr

Variante [Strassen Matrix - DWV]	Anzahl Fahrten [Ist-Zustand]	Absolute Veränderung- SP [Fahrten]	Absolute Veränderung- RP [Fahrten]	Absolute Veränderung- EL [Fahrten]
Jahr 1999	7'488'429			
Jahr 2001 ohne Angebotsveränderungen	7'840'039			
S1 (nur Strassen Massnahmen)		1'022	1438	3133
BS (Bahn und Strasse)		-2'231	7668	-

Nachfrageveränderungen : Quell-Ziel Beziehungen im ICN-Korridor

Für diese Analyse wurden die Nachfrageveränderungen auf einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen untersucht. Die durch die Angebotsveränderungen verursachten relativen Veränderungen des Verkehrsaufkommens (in %), für ausgewählte Quell-Ziel Beziehungen, sind im Technischen Bericht dargestellt. Die Einführung des ICN führt vor allem zu einer deutlichen Erhöhung der Nachfrage zwischen den Quell-Ziel Beziehungen, welche auf der Jura-fuss-Achse liegen. Durch die Reisezeitverkürzung, ein verdichtetes Fahrplanangebot und durch den verbesserten Komfort, konzentriert sich die Nachfrageveränderung auf die Beziehungen von bzw. nach Solothurn, Biel, Neuchatel und Yverdon. Die wesentliche Erhöhung der Nachfrage von/nach diesen Zonen zeigte sich vor allem in den Richtungen nach Zürich bzw. Lausanne.

Die Nachfragegewinne die mit RP-Modellparametern ermittelt wurden, sind insgesamt kleiner als die mit SP-Modellparametern ermittelten Werte. Die Unterschiede sind vor allem auf die Nichtberücksichtigung des Komforts und die Überbewertung des Intervalls im RP-Modell zurückzuführen. Die Anwendung von Elastizitäten führt zu einer stärkeren Nachfrageveränderung als die Anwendung von SP- und RP Modellparametern. Verursacht wird dies, unter anderem, durch die isolierte Betrachtung einzelner Variablen bei der Anwendung von Elastizitäten, d.h. der absolute Wert und die Veränderung von anderen Variablen werden nicht berücksichtigt. Zusätzlich zeigte sich im Vergleich mit SP-Ergebnissen auch die Auswirkung der

höheren Intervall-Elastizität. Vor allem ist bei dem Intervall die „relative“ oder absolute Betrachtung sehr wichtig.

Querschnittsbelastungen

Die durch die Verkehrsmittelwahlveränderung resultierenden Veränderungen der Netzbelastungen zeigen noch einmal deutlich, dass durch die betrachteten Angebotsveränderungen im Schienenverkehr eine Nachfrageerhöhung entlang der ICN-Linie und eine Nachfragesenkung auf der Strecke via Plateau festzustellen ist. Im Strassenverkehr ist eine Senkung der Nachfrage entlang des ICN-Korridors zu verzeichnen. Eine kleine Erhöhung der Nachfrage findet im Korridor Bern-Fribourg-Yverdon-Geneve statt. Die Anwendung der RP Methode führt zu einem kleineren Nachfragezuwachs auf der Jurafuss-Strecke als bei der Anwendung des SP-Parameters und zu höheren Nachfragegewinnen im Strassenverkehr. Da hier nur direkte Elastizitäten angewendet wurden, werden sowohl bei der Veränderung der Bahnnachfrage (nur Variante B6) als auch bei der Strassennachfrage (nur Variante S1) die Angebotsveränderungen der konkurrierenden Verkehrsträger nicht berücksichtigt. Zusätzlich zeigt sich auch die negative Bedeutung der relativen Betrachtung und Nichtberücksichtigung der absoluten Variablenwerten.

Tabelle 11 Aus Verkehrsmittelwahländerungen resultierende absolute und relative Veränderungen der Querschnittsbelastungen im Schienenverkehr

Variante BS Nachfrageveränderungen	SP		RP		EL (Variante B6)	
	Pers. Fahrten /Werktag	In %.	Pers. Fahrten /Werktag	In %.	Pers. Fahrten /Werktag	In %.
St.Gallen – Wil	169	0.9	-362	-2.0	9	0.0
Wil – Winterthur	321	1.6	188	0.9	237	1.2
Winterthur – Effretikon	1041	1.9	-554	-1.0	209	0.4
Effretikon - ZH Flughafen	938	3.0	111	0.4	418	1.4
ZH Flughafen – Zürich	607	1.4	-915	-2.2	-167	-0.4
Killwangen – Lenzburg	940	1.9	-390	-0.8	271	0.6
Rupperswil – Aarau	950	1.7	-376	-0.7	342	0.6
Aarau – Olten	966	1.9	-384	-0.8	372	0.7
Olten – Solothurn	1192	7.4	881	6.6	1679	12.5
Grenchen – Biel	708	4.0	481	3.1	1096	7.1
Biel – Neuchatel	272	2.2	130	1.2	606	5.6
Neuchatel – Yverdon	337	2.9	99	1.0	614	6.0
Yverdon – Lausanne	404	3.0	69	0.6	585	4.8
Lausanne – Geneve	-252	-0.8	-1440	-4.6	-859	-2.7
Herzogenbuchsee – Burgdorf	-300	-0.7	-1198	-2.7	-1095	-2.5
Fribourg – Lausanne	-321	-2.1	-694	-4.2	-369	-2.2
Bern – Fribourg	-73	-0.4	-163	-0.8	81	0.4
Pratteln – Brugg	-176	-0.9	-719	-3.7	-437	-2.2
Baden – Brugg	-242	-0.7	-897	-2.6	-445	-1.3
Sisach – Gelterkinden	179	0.7	56	0.2	10	0.0

Tabelle 12 Aus Verkehrsmittelwahländerungen resultierende absolute und relative Veränderungen der Querschnittsbelastungen im Strassenverkehr (Autobahnstrecke)

Variante BS	SP		RP		EL	
	PW. Fahrten /Werktag	In %.	PW. Fahrten /Werktag	In %.	PW. Fahrten /Werktag	In %.
Payerne – Yverdon	266	4.6	445	7.8	740	12.9
Fribourg – Vevey	0	0.0	151	0.4	46	0.1
Yverdon – Lausanne	6	0.0	188	0.6	351	1.0
Neuchatel – Yverdon	-156	-0.9	-92	-0.5	0	0.0

5.2 Routenwahl Veränderungen

Bei einer Verifizierung von Verkehrsprognosen mit Querschnittsbelastungen ist eine Trennung zwischen den Verkehrsmittelwahl- und den Routenwahl-Effekten sehr wichtig. Die Routenwahl-Veränderungen werden durch einen Vergleich der Umlegungsergebnisse mit- und ohne Angebotsveränderungen erstellt. Dabei bleiben die Quell-Ziel-Matrizen und die Umlegungsparameter unverändert. Die durch die Einführung des ICN verursachten Routenwahl-Veränderungen (Tabelle 13) führen zu einer Erhöhung der Nachfrage auf der Strecke via Jurafuss zwischen 1700 (Neuchatel-Yverdon) und 2500 (Biel – Solothurn-Olten) Personenfahrten pro Werktag (in beide Richtungen). Dementsprechend ist die Nachfragebelastung via Plateau ungefähr in ähnlichem Ausmass niedriger geworden (zwischen 1700 und 2100 Fahrten pro Werktag). Die Routenwahlveränderungen für die einzelnen Varianten sind im Technischen Bericht dargestellt.

Im Strassenverkehr wird durch diese Angebotsveränderungen (Tabelle 14) der Autobahnabschnitt Bern-Payerne-Yverdon-Lausanne zusätzlich mit ca. 6000 PW-Fahrten belastet. Diese werden vor allem von der Strecke Bern-Fribourg-Vevey-Lausanne verlagert (5000 Pw-Fahrten weniger). Kleinere Entlastungen werden auch auf der Strecke Neuchatel-Yverdon und Payerne-Lausanne (Hauptstrasse) festgestellt.

Tabelle 13 Absolute und Relative Veränderungen der Querschnittsbelastungen im Schienenverkehr durch veränderte Routenwahl (mit SP- Routenwahl Parameter)

Beide Richtungen Strecke	Variante B1		Variante B6	
	Pers. Fahrten /Werktag	In %.	Pers. Fahrten /Werktag	In %.
St.Gallen - Wil	-216	-1.2	-250	-1.4
Wil - Winterthur	-527	-2.6	-481	-2.3
Winterthur - Effretikon	385	0.7	404	0.7
Effretikon - ZH Flughafen	1'456	4.8	1'696	5.6
ZH Flughafen - Zürich	1'436	3.3	1'734	4.1
Killwangen - Lenzburg	2'107	4.4	2'344	4.9
Rapperswil - Aarau	673	1.2	664	1.2
Aarau - Olten	801	1.5	789	1.5
Olten - Solothurn	2'595	17.7	2'636	18.0
Grenchen - Biel	2'369	14.8	2'453	15.2
Biel - Neuchatel	1'757	15.7	1'453	12.9
Neuchatel - Yverdon	1'699	16.0	1'511	14.1
Yverdon - Lausanne	1'687	13.5	1'498	11.7
Lausanne - Geneve	12	0.0	36	0.1
Herzogenbuchsee - Burgdorf	-2'087	-4.7	-2'093	-4.8
Fribourg - Lausanne	-1'627	-7.8	-1'359	-6.5
Bern - Fribourg	-1'613	-9.8	-1'442	-8.7
Pratteln - Brugg	-247	-1.3	-255	-1.3
Baden - Brugg	-1'607	-4.6	-1'831	-5.2
Sisach - Gelterkinden	305	1.2	216	0.9

Tabelle 14 Absolute und Relative Veränderungen der Querschnittsbelastungen im Strassenverkehr durch veränderte Routenwahl

Strecke	PW. Fahrten /Werktag	In %.
Payerne – Yverdon	7'830	136.5
Fribourg – Vevey	-4'395	-12.6
Yverdon – Lausanne	6'294	18.5
Neuchatel - Yverdon	-1'697	-9.4
Payerne-Moudon-Lausanne	-1'639	-25.5

5.3 Gesamte Nachfrageveränderung in Querschnittsbelastungen

Die gesamten Nachfrageveränderungen zwischen 1999 und 2001 im Schienen- und Strassenverkehr werden hier noch durch den Vergleich der Querschnittsbelastungen dargestellt. Analysiert werden dabei Streckenabschnitte bei denen durch die Angebotsveränderungen auch (bedeutende) Nachfrageveränderungen stattgefunden haben. Die Nachfrageveränderungen werden in drei Schritten aufgeteilt: allgemeines Nachfragewachstum (angebotsunabhängiges Wachstum), Routenwahl- und Verkehrsmittelwahl-Veränderungen. Die durch diese Effekte resultierenden Veränderungen in den Querschnittsbelastungen sind für einige Streckenabschnitte im Schienenverkehr in der Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15 Veränderung von Streckenbelastungen im Schienenverkehr (Mit Berücksichtigung allen betrachteten Angebotsveränderungen im Strassen- und Schienenverkehr) – Relativ

Streckebelastungen (DWV – Beide Richtungen)	1999 [Personen Fahrten]	Index 1999 = 100				
		2001- Ohne Massnahmen	2001 – Mit RW	2001 mit RW und VM (SP)	2001 mit RW und VM (RP)	2001 mit RW und VM (EL)
St.Gallen – Wil	17'312	105	103	104	101	103
Wil – Winterthur	19'347	105	102	104	103	103
Winterthur – Effretikon	52'263	105	106	107	104	106
Effretikon – ZH Flugh.	28'348	105	111	113	111	112
ZH Flughafen – Zürich	40'378	105	109	110	107	109
Killwangen – Lenzburg	44'357	105	110	112	109	111
Rupperswil – Aarau	54'000	105	106	108	105	107
Aarau – Olten	48'277	105	107	108	106	107
Olten – Solothurn	12'842	105	125	134	132	138
Grenchen – Biel	14'638	105	122	126	125	129
Biel – Neuchatel	10'344	105	119	122	120	125
Neuchatel – Yverdon	9'764	105	120	123	121	127
Yverdon – Lausanne	11'658	105	118	121	118	123
Lausanne – Geneve	29'957	105	105	104	100	102
Herzogenb. – Burgdorf	41'832	105	100	99	97	97
Fribourg – Lausanne	15'670	105	96	94	91	93
Bern – Fribourg	19'738	105	98	98	97	98
Pratteln – Brugg	18'732	105	103	102	99	101
Baden – Brugg	33'479	105	99	99	97	98
Sisach – Gelterkinden	23'753	105	106	106	106	106

RW- Routenwahl Veränderungen, VM – Verkehrsmittelwahl Veränderungen
 SP – Stated Preference, RP – Revealed Preference, EL - Elastizitäten

Wie aus den Tabellen 15 und 16 zu erkennen ist, sind die wesentlichen Nachfrageveränderungen in den Streckenbelastungen durch Routenwahlveränderungen verursacht. Erwartungsgemäss kann der grösste Nachfragezuwachs auf der Jurafuss- Strecke gefunden werden. Hier wird eine Verlagerung von anderen Linien bzw. Routen mit ca. 1500 bis 2500 zusätzlichen Fahrten/Tag erwartet, was einer Nachfrageerhöhung von 10 und 20% entspricht. Die Verkehrsmittelwahlveränderungen führen zu einer deutlich kleineren Veränderung der Streckenbelastungen. Durch diese Effekte erhöht sich die Nachfrage auf der Jurafuss Strecken zwischen 2% und 8%. Die relativen Routen- und Verkehrsmittelwahl-Veränderungen (in %) an einzelnen Querschnitten sind auch in Abbildung 7 dargestellt.

Im Strassenverkehr führt der Autobahnausbau auf der Strecke Payerne-Yverdon zu einer Nachfrageerhöhung im Vergleich mit der vorherigen Belastung auf dieser Strecke von ca. 150% (Tabelle 16 und Abbildung 8). Dieser Verkehr wird vor allem von den Autobahnabschnitten Fribourg-Vevey und Neuchatel-Yverdon, sowie von der Hauptstrasse Payerne-Moudon-Lausanne kommen. Durch die veränderte Verkehrsmittelwahl erhöht sich die Nachfrage am ausgebauten Autobahnabschnitt zwischen 5% (SP) und 13% (Elastizitäten).

Tabelle 16 Veränderung von Streckenbelastungen im Strassenverkehr (Mit Berücksichtigung aller betrachteten Angebotsveränderungen im Strassen- und Schienenverkehr) - Relativ

		Index 1999 = 100				
Streckenbelastungen (DWV – Beide Richtungen)	1999 [PW – Fahrten]	2001 - Ohne Massnahmen	2001- Mit RW	2001 - Mit RW und VM (SP)	2001 - Mit RW und VM (RP)	2001 - Mit RW und VM (EL)
Payerne - Yverdon	5'433	105	250	255	258	263
Fribourg - Vevey	33'056	105	92	92	93	92
Yverdon – Lausanne	32'508	105	124	124	125	125
Neuchatel – Yverdon	17'125	105	95	94	95	95
Payerne – Moudon – Lausanne	6'552	105	73	73	73	73

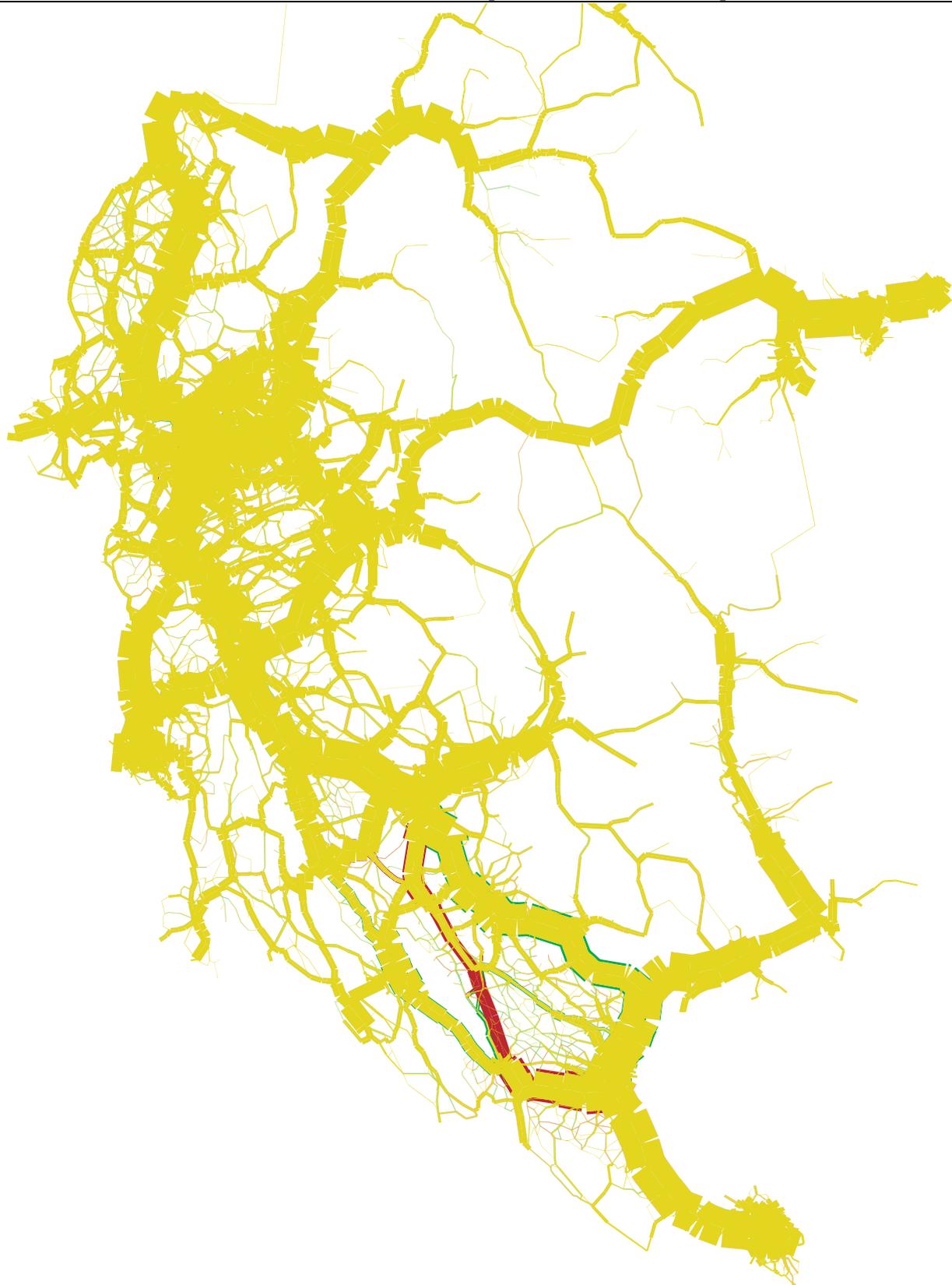
SP - Stated Preference, RP - Revealed Preference, EL - Elastizitäten,
RW- Routenwahl Veränderungen, VM – Verkehrsmittelwahl Veränderungen

Abbildung 7 Veränderungen der Streckenbelastungen durch Routen- und Verkehrsmittelwahleffekte im Schienennetz [SP- Alle Massnahmen]



gelb = Grundbelastung, rot = mehr, grün = weniger

Abbildung 8 Veränderungen der Streckenbelastungen durch Routen- und Verkehrsmittelwahl-
effekte im Strassenverkehr [SP- Alle Massnahmen]



gelb = Grundbelastung, rot = mehr, grün = weniger

6 Überprüfung der Prognosen

Die Erhebungsdaten im Schienenpersonenverkehr und Daten aus automatischen Strassenverkehrszählungen bieten die Möglichkeit, die drei angewendeten Prognosemethoden zu überprüfen (Elastizitäten, RP-Modelle, SP-Modelle). In diesem Arbeitsschritt wird auf Grundlage der erhobenen Daten ein Nachher-Zustand mit den betrachteten Angebotsveränderungen abgebildet und zusätzlich zu den erhobenen Daten den berechneten Verkehrsprognosen gegenüber gestellt. Der Vergleich von Entwicklung und Prognosen wird sowohl auf der Ebene der Gesamtnachfrage als auch auf der Ebene der Strecken und der Quell-Ziel-Beziehungen durchgeführt. Aus den erhobenen Nachfragedaten lässt sich nur eine gesamte Nachfragereaktion auf die durchgeführten Angebotsveränderungen feststellen. Eine Trennung der Wirkungen auf einzelne Angebotsvariablen und Massnahmen ist hier nicht möglich.

6.1 Ermittlung des Nachher Zustand

Für die Überprüfung der Verkehrsprognosen werden neben den erhobenen Daten auch anhand von Erhebungsdaten kalibrierte Netzmodelle im Strassen- und Schienenverkehr verwendet. Diese Modelle werden verwendet, um die Veränderungen der gesamten Verkehrsnachfrage und der Verkehrsnachfrage zwischen einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen, sowie die Veränderungen der Querschnittsbelastungen auf den Abschnitten ohne Verkehrszählungen festzustellen.

Im Schienenverkehr werden neben den Quell-Ziel- Befragungen in den Zügen auch die Querschnittsbelastungen erhoben. Diese Daten wurden für den Fahrplan 2001/2002 zur Verfügung gestellt. Aus der 5-tägigen Befragung und dem vorhandenen Fahrplan (Linienangebot) wurde von der SBB eine Hochrechnung auf den durchschnittlichen Werktag durchgeführt. Auf Grundlage der Querschnittszählungen und der hochgerechneten Quell-Ziel-Matrix wurde mit dem gleichen Verfahren und den selben Modellparametern aus dem Zustand 1999/2001 ein Umlegungsmodell im Schienenverkehr für den Fahrplan 2001/2002 kalibriert.

Im Strassenverkehr konnten nur die Daten aus den automatischen Strassenverkehrszählungen 2001 erhoben werden. Auf Grundlage dieser Daten wurde auch hier mit dem gleichen Verfahren und den selben Modellparametern aus dem Zustand 1999 ein Modell für das Jahr 2001 kalibriert. Die kalibrierten Umlegungsergebnisse im Schienen- und Strassenverkehr für den Nachher-Zustand (Fahrplan 2001/2002 bzw. Jahr 2001) und die Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen sind im Technischen Bericht dargestellt.

Aus dem Vergleich der Querschnittszählungen für das Jahr 2001 und 1999 ergibt sich im Strassenverkehr ein durchschnittliches Nachfragewachstum von 8.3% (Tabelle 17). Bei 14% der Zählstellen wurde ein Nachfragerückgang und bei 72% ein Verkehrsnachfragewachstum bis zu 10% festgestellt. Bei einer Zählstelle (Payerne) wurde durch die Infrastrukturmassnahme ein Wachstum von 207% registriert, welches vor allem auf die Routenwahlverlagerungen zurückzuführen ist.

Tabelle 17 Relative Veränderungen der Querschnittsbelastungen

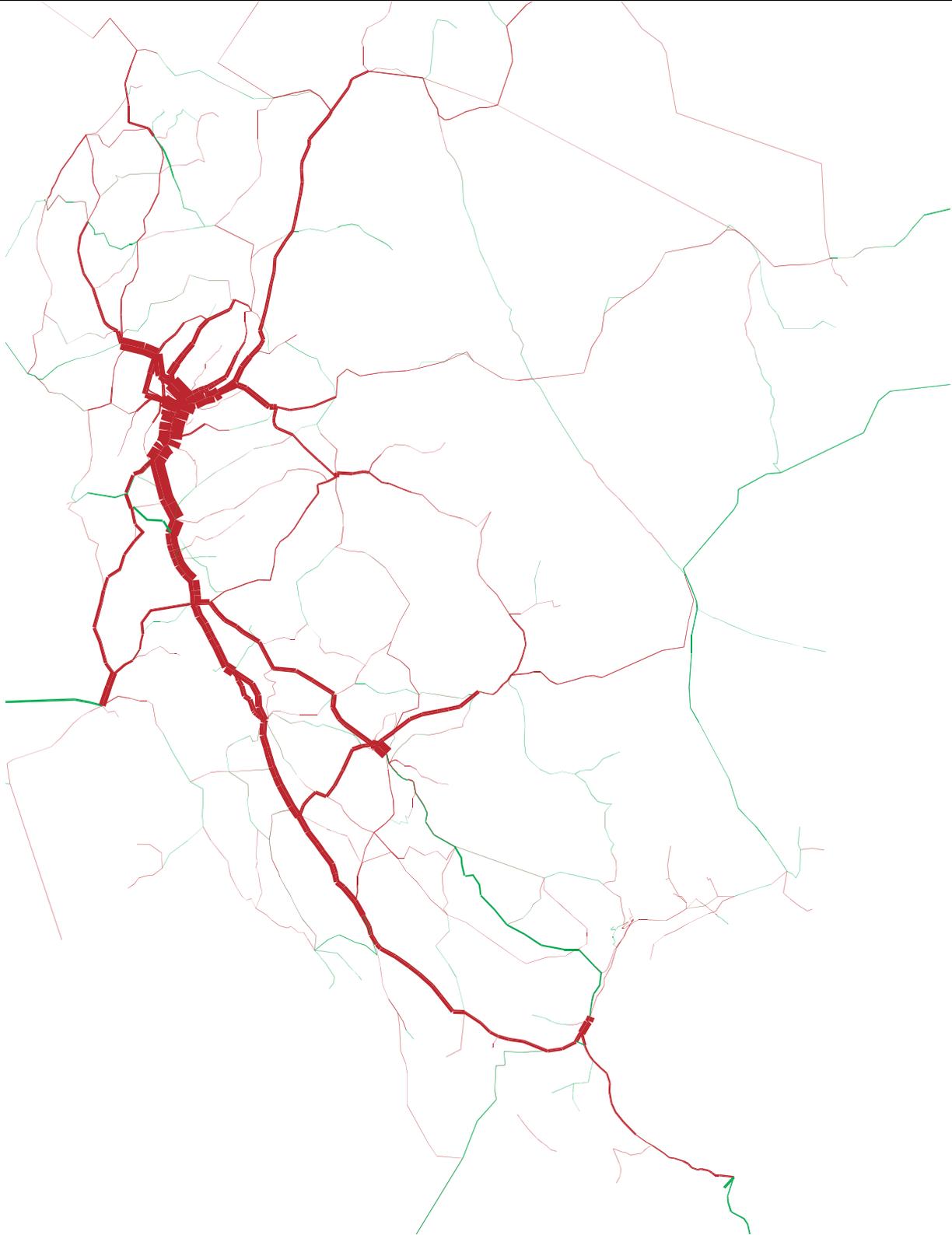
Spannbreite [Veränderungen in %]	Strassenverkehr		Schienenverkehr	
	Veränderungen in % [Mittelwert]	Anzahl Zählstellen	Veränderungen in % [Mittelwert]	Anzahl Zählstellen
< 0	-4.2	10	-7.6	488
0 bis 5	3.1	25	3.2	588
5 bis 10	7.7	26	8.5	542
10 bis 20	13.4	7	15.1	386
20 bis 50	30.8	2	29.4	276
> 50	206.7	1	64.2	36
Alle	8.3	71	8.2	2316

Aus dem mit Querschnittszählungen kalibrierten Netzmodell für das Jahr 2001 und 1999 wurde dann eine Differenz in der Streckenbelastungen für das gesamte Strassennetz berechnet. Die daraus ermittelten Differenzbelastungen stellen die Nachfrageveränderungen im betrachteten Zeitraum dar (Abbildung 10).

Im Schienenverkehr wurde basierend auf dem Vergleich der Querschnittszählungen zwischen dem Fahrplan 1999/2000 und 2001/2002 ein mittleres Wachstum von 8.2% erreicht. Die Verteilung der relativen Nachfrageveränderungen ist in der Tabelle 17 dargestellt. Hier ist eine relativ ungleichmässige Nachfrageveränderung festzustellen. Bei ca. 21% der Zählstellen wird ein Nachfragerückgang und bei ca. 14% der Zählstellen ein Nachfragewachstum von mehr als 20% verzeichnet. Dies ist teilweise auch auf die betrachteten Angebotsveränderungen zurückzuführen.

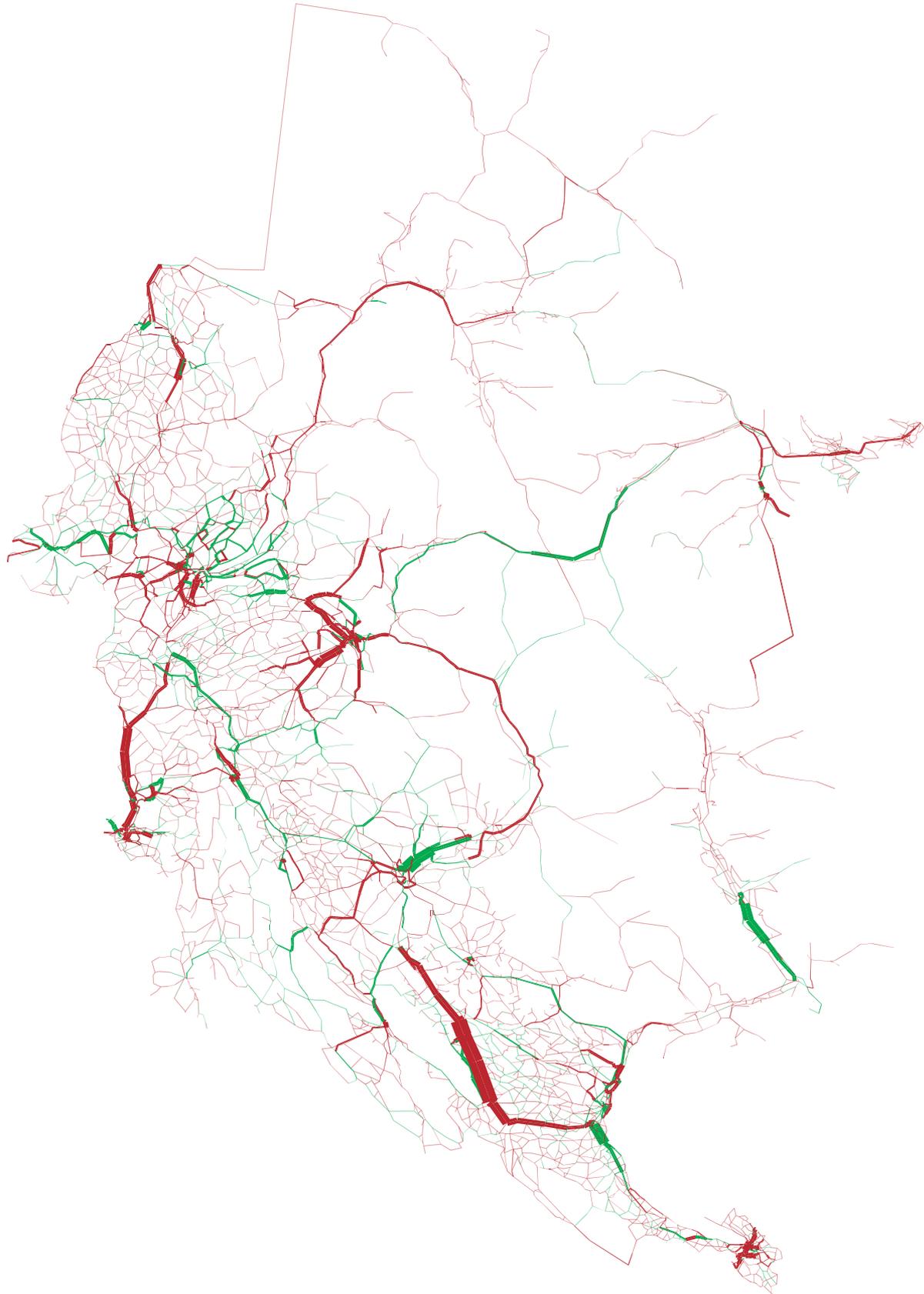
Die aus den kalibrierten Netzmodellen berechnete Differenz in den Streckenbelastungen ist in Abbildung 9 dargestellt. Diese Differenz entspricht auch den Veränderungen bei den Querschnittszählungen. Aus diesen Abbildungen ist zu sehen, dass auf den wichtigsten Bahnachsen ein Nachfragezuwachs zu verzeichnen ist. Es ist auch zu erkennen, dass entlang der ICN-Achse eine Nachfrageerhöhung gegenüber 1999 stattgefunden hat. Genauere Angaben über die relativen und absoluten Nachfrageveränderungen für die einzelnen Streckenabschnitte werden bei einem Vergleich zwischen prognostizierten und tatsächlich gezählten Streckenbelastung ersichtlich.

Abbildung 9 Veränderung der Netzbelastungen im Schienenverkehr 2001/1999



rot= mehr, grün= weniger

Abbildung 10 Veränderung der Netzbelastungen im Strassenverkehr 2001 / 1999



rot= mehr, grün= weniger

6.2 Vergleich : Prognostizierte und erhobene Verkehrsnachfrage

In diesem Abschnitt werden die mit drei unterschiedlichen Methoden ermittelten Verkehrsprognosen mit Erhebungsdaten und dem im Verkehrsmodell abgebildeten Nachher-Zustand überprüft. Die bei der Berechnung der Verkehrsprognosen ermittelte Nachfrageveränderungen einzelner bzw. mehrerer Massnahmen zusammen (Varianten) können hier nicht analysiert werden. Dafür sind die vorhandenen Erhebungsdaten nicht geeignet. Aus diesem Grund werden nur die Nachfrageauswirkungen von allen (gemeinsam) betrachteten Bahn- und Strassenmassnahmen (Variante BS) überprüft.

Für die Überprüfung der Verkehrsprognosen stellen die Querschnittszählungen wesentliche Datengrundlagen. Es ist zu erwarten, dass die Fehlerquote bei diesen Daten für die Beurteilung von Verkehrsprognosen weniger relevant ist. Im Strassenverkehr ist aber bei einigen Zählstellen der Anteil des intrazonalen Verkehrs nicht unbedeutend. Dieser wird im Verkehrsmodell nicht berücksichtigt.

Für die Überprüfung der prognostizierten Quell-Ziel-Matrizen ist die Datenlage deutlich schlechter. Im Strassenverkehr sind hier keine Erhebungsdaten vorhanden. Damit wird die Quell-Ziel-Matrix für den Nachher-Zustand nur auf der Grundlage der Querschnittszählungen aktualisiert. Im Schienenverkehr wurden zwischen der erhobenen (und hochgerechneten) Quell-Ziel-Matrix und den Querschnittszählungen teilweise grosse Unstimmigkeiten festgestellt. Die durchgeführten Quell-Ziel-Erhebungen sind durch zeitliche und räumliche Abgrenzungen für die hier gestellte Aufgabe weniger geeignet. Mit der umgelegten SBB Quell-Ziel-Matrix wurden hier deutlich höhere Streckenbelastungen ermittelt als die Querschnittszählungen ergaben. Dabei sind die Differenzen bei einzelnen Strecken oder Abschnitten sehr unterschiedlich.

Bei der Eichung der Quell-Ziel-Matrizen auf die Querschnittszählungen, können die Quell-Ziel-Beziehungen, die korrigiert werden, mit einem relativ hohen Freiheitsgrad gewählt werden. Die sehr kleine Anzahl von Zählstellen im Strassenverkehr erhöht diesen Freiheitsgrad zusätzlich. Unterschiedliche Trends bei den betrachteten Strecken/Abschnitten respektive Unterschiede zwischen umgelegten und gezählten Querschnittsbelastungen im Schienenverkehr führte zu teilweise ungleichmässigen Nachfrageveränderungen bei einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen.

Damit sind die Nachfrageveränderungen 1999-2001 zwischen den einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen, die auf diese Art berechnet wurden für die Beurteilung von detaillierten bzw. Quell-Ziel bezogenen Verkehrsprognosen weniger geeignet. Bei der Überprüfung der gesamten Quell-Ziel-Matrix, dürfte dieser Fehler kleiner sein als bei einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen. Um die Abweichungen bei den drei betrachteten Methoden zu vergleichen,

werden trotzdem auch die Nachfrageprognosen der einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen überprüft.

Vergleich der erhobenen und prognostizierten Quell-Ziel Matrizen

Aus dem Vergleich der kalibrierten Quell-Ziel-Matrizen für das Jahr 1999 und 2001 wurde im Schienenverkehr ein Nachfragewachstum von 6.30%, im Strassenverkehr ein Wachstum von 4.26% ermittelt. Der Vergleich zwischen prognostizierten und erhobenen Verkehrsnachfragen (Eckwerte der Quell-Ziel Matrix) ist in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 18 Prognostizierte und Erhobene bzw. Kalibrierte Nachfrageveränderungen

Veränderung 2001/1999 DWV	Bahnmatrix [Personenfahrten]	Strassenmatrix [Personenfahrten]
Ist Zustand 1999	742'819	7'488'429
Nachher Zustand 2001 (Veränderung: Absolut / Relativ [%])	790'192 (47'373 / 6.37)	7'807'801 (319'372 / 4.26)
SP – Prognosen (Veränderung: Absolut / Relativ [%])	780'847 (38'028 / 5.12)	7'837'808 (349'379 / 4.66)
RP – Prognosen (Veränderung: Absolut / Relativ [%])	770'948 (28'129 / 3.79)	7'847'729 (359'300 / 4.80)
EL – Prognosen (Veränderung: Absolut / Relativ [%])	779'448 (36'629 / 4.93)	7'843'172 (354'743 / 4.74)

SP – Stated Preference, RP – Revealed Preference, EL – Klassische Elastizitäten

Das unterschiedliche (kleinere) Nachfragewachstum bei der Quell-Ziel-Matrix gegenüber den Querschnittszählungen ist vor allem auf die veränderte Reiseweite und Matrixstruktur, die Verteilung der Zählstellen im Netz (Zählstellen Dichte) und Abweichungen zwischen Modellbelastungen und Querschnittszählungen zurückzuführen.

Aus der Tabelle 18 ist zu sehen, dass die auf den Grundlagen der Stated Preference Methoden berechneten Nachfrageprognosen die kleinste Differenz gegenüber den erhobenen bzw. kalibrierten Nachfrageveränderungen zeigen. Sowohl im Schienen- als auch im Strassenverkehr sind die Fehler bei der Anwendung dieser Methode kleiner als bei den anderen zwei Methoden. Dabei zeigt diese Methode auch eine mit den Erhebungsdaten vergleichbares, höheres relatives Wachstum im Schienenpersonenverkehr. Die berechnete Fehlergrösse bei der Anwendung der SP-Methode im Schienenverkehr ist -1.25%, im Strassenverkehr 0.4% (Tabelle 19). Die Anwendung der RP-Methode und der Elastizitäten ergab weniger plausible Ergebnisse.

Tabelle 19 Berechnete Fehlergrösse zwischen prognostizierten und erhobene bzw. kalibrierter Anzahl Fahrten [in %]

[in %]	Bahnmatrix	Strassenmatrix
SP – Prognosen	-1.25	0.40
RP – Prognosen	-2.58	0.54
EL – Prognosen	-1.44	0.48

SP – Stated Preference, RP – Revealed Preference, EL – Klassische Elastizitäten

Aus den erhobenen Nachfrageveränderungen ist es leider nicht möglich, das Nachfragewachstum in, durch soziodemographische- und Verkehrsangebotsverursachte Veränderungen aufzuteilen. Damit ist es auch nicht möglich festzustellen, ob die berechnete Abweichungen in den Prognosen durch die soziodemographischen oder durch das Verkehrsangebot verursachten Nachfrageveränderungen begründet sind. Aus der Analyse der Quell-Ziel bezogenen Nachfrageveränderungen im Schienenverkehr, zeigte sich aber in jedem Fall, dass ein höherer Nachfragezuwachs nicht nur auf die durchgeführten Angebotsveränderungen, sondern auch auf die unterschiedliche siedlungsstrukturelle Veränderungen (z.B. EXPO Effekte zwischen 15 Mai und 10 Juni 2002, EXPO Vorbereitungen) zurückzuführen ist. Bei der Betrachtung der Nachfrageveränderungen nur innerhalb des ICN-Korridors zeigt sich ein ähnliches Muster wie im gesamten Modell. Auch hier erwies sich die SP-Methode als die plausibelste Methode.

Aus dem Vergleich der kalibrierten Schienenverkehrsmatrix im Vorher- und Nachher-Zustand zeigte sich bei einzelner Quell-Ziel Beziehungen eine sehr ungleichmässige und teilweise nicht nachvollziehbare Nachfrageveränderung. Aus diesen Veränderungen lassen sich keine allgemeine Schlüsse über die Nachfrageentwicklung ziehen. Ein insgesamt höheres Nachfragewachstum von bzw. nach Biel, Neuchatel und Yverdon ist sehr wahrscheinlich vor allem auf die EXPO Vorbereitungen zurückzuführen. Dabei ist zu erwähnen, dass in den erhobenen Datengrundlagen (10. Juni 2001 – 15. Juni 2002) für den Nachher-Zustand auch die ersten vier EXPO Wochen berücksichtigt (15 Mai bis 15 Juni 2002) sind. Bei einigen Beziehungen könnten die Ursachen auch in den kleinen Stichproben liegen, auf denen die Hochrechnung beruht. Die durchgeführten Quell-Ziel-Erhebungen im Vorher- und Nachher-Zustand werden zeitlich und räumlich nicht abgestimmt, was jedoch für die hier betrachtete Analyse eine wichtige Voraussetzung wäre. Zusätzlich könnte ein Teil der Abweichung auch in den Unstimmigkeiten zwischen der hochgerechneten Quell-Ziel-Matrix und den Querschnittsbelastungen (und der darauf basierenden Kalibration) liegen. Aus diesen Gründen ist eine Bewertung bzw. Beurteilung der ermittelten Verkehrsprognosen auf der Ebene einzelner Quell-Ziel-Beziehungen nicht verlässlich.

Trotz der vorhandenen Schwierigkeiten wurde wie vorher schon erwähnt, eine Analyse der Abweichungen der prognostizierten Nachfrageveränderungen zwischen 1999 und 2001 durchgeführt (siehe Technischer Bericht). Aus den absolut summierten Abweichungen über alle betrachteten Beziehungen zeigte sich, dass der Fehler bei der SP Methode kleiner ist als bei den zwei anderen Methoden.

Vergleich der erhobenen und prognostizierten Querschnittsbelastungen

Aus dem Vergleich der prognostizierten mit den erhobenen Querschnittsbelastungen soll hier eine endgültige Aussage über den Güte der prognostizierten Nachfrageveränderungen gemacht werden. Es werden die prognostizierten Streckenbelastungen mit den tatsächlich erhobenen bzw. gezählten Querschnittsbelastungen verglichen. Im Schienenverkehr werden die Streckenbelastungen auf dem gesamten SBB-Netz erhoben. Die berechneten Veränderungen in den Streckenbelastungen zwischen 1999 und 2001 beinhalten somit alle Effekte, die durch Veränderungen von allen nachfragebeeinflussenden Faktoren verursacht wurden. Bei den berechneten Verkehrsprognosen wurde neben den Routen- und Verkehrsmittelwahl Veränderungen (als zwei für die betrachteten Angebotsmassnahmen wichtigsten Effekte) auch ein gleichmässiges angebotsunabhängiges Nachfragewachstum berücksichtigt.

Auf Grundlage der Querschnittszählungen im Schienenverkehr wurden im Nachher-Zustand (Fahrplan 2001/2002) pro Strecke im durchschnitt 480 Personen mehr gezählt als im Vorher-Zustand. Dies entspricht einem durchschnittlichen Wachstum von 8.2% pro Strecke. Die mittleren Veränderungen der Streckenbelastungen aus den Erhebungsdaten und Verkehrsprognosen sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 20 Mittlere Veränderung der Streckenbelastungen zwischen 1999 und 2001 im Schienenverkehr

[in Personen]	Erhebungen	SP – Methode	RP - Methode	EL - Methode
Absolut in Fahrten	480	490	416	467
Relativ in %	8.2	11.7	10.9	11.5
Relativ in % (mit Streckenbelastungen gewichtet)	10.7	10.5	8.9	10.0

SP – Stated Preference, RP – Revealed Preference, EL – Klassische Elastizitäten

Bei der Berechnung der mittleren Abweichungen zwischen den erhobenen und den prognostizierten Streckenbelastungen werden die für die einzelnen Strecken berechneten, relativen Differenzen in % als absolute Werte berechnet. Die so berechneten Abweichungen werden mit

den Streckenbelastungen gewichtet und über alle Strecken summiert. Aus der Summe der absoluten (und gewichteten) Abweichungen und der Anzahl Strecken, wurden folgende mittlere Abweichungen gegenüber den erhobenen Streckenbelastungen für die drei betrachteten Prognosemethoden ermittelt:

- SP Methode 7.2 %
- RP Methode 7.7 %
- EL Methode 7.5 %

Diese Abweichungen beinhalten alle Differenzen zwischen den prognostizierten und den erhobenen Nachfrageveränderungen sowie alle anderen vorhandenen Beschränkungen bei den Datengrundlagen und der Modellanwendung. Dabei ist es wichtig hier zu berücksichtigen, dass die Verkehrsprognosen auf Grundlage des ermittelten Ist-Zustandes im Verkehrsmodell erstellt werden. Die im Vorher-Zustand mit dem Verkehrsmodell abgebildeten Abweichungen gegenüber den Verkehrszählungen, werden auf die Verkehrsprognosen übertragen. Damit sind, für die oben berechneten Abweichungen, die Differenzen zwischen den erhobenen und den im Verkehrsmodell abgebildeten Streckenbelastungen (absoluter und mit Streckenbelastungen gewichteter Mittelwert 6.9%) wesentlich.

Es zeigte sich auch hier, dass der Fehler bei der Anwendung der SP Methode am kleinsten war. Die relativ kleinen Differenzen zwischen den Fehlern der drei betrachteten Methoden, geben einen weiteren Hinweis darauf, dass die berechnete Nachfrageveränderung nicht nur auf die Routen- und Verkehrsmittelwahl-Effekte zurückzuführen ist. Die Differenzen zwischen den prognostizierten und den erhobenen Streckenbelastungen (SP Methode) sind in der Abbildung 11 dargestellt.

Um die Auswirkungen der betrachteten Angebotsveränderungen genauer zu überprüfen, werden in einem weiteren Schritt die prognostizierten Streckenbelastungen auf einzelnen Abschnitten im Rahmen des ICN-Korridors überprüft. Die Abweichungen zwischen prognostizierten und erhobenen Streckenbelastungen sind in der Tabelle 21 dargestellt (inkl. im Vorher-Zustand mit dem Verkehrsmodell abgebildete Abweichungen gegenüber den Verkehrszählungen). Wie aus dieser Tabelle zu sehen ist, sind die Differenzen zwischen den prognostizierten und den erhobenen Streckenbelastungen relativ klein. Im Durchschnitt betragen die mittleren absoluten Abweichungen (mit Streckenbelastungen gewichtet) zwischen den erhobenen und den prognostizierten Belastungen der hier betrachteten Strecken mit Anwendung der: SP Methode 3.5 %, RP Methode 4.6 % und EL Methode 4.2 %. Auch bei dieser Analyse ist die Abweichung bei der Anwendung der SP Methode kleiner als bei den anderen zwei Methoden. Die ermittelten Nachfrageveränderungen im betrachteten Zeitraum werden nebst dem allgemeinen Nachfragewachstum vor allem durch Routenwähländerungen und weniger durch

Verkehrsmittelwahl-Veränderungen verursacht. Aus diesem Grund sind auch die Unterschiede in den Abweichungen zwischen den drei betrachteten Prognosemethoden relativ klein.

Um den EXPO-Einfluss auf die Querschnittsbelastungen zu schätzen, wurde von der SBB für den Nachher-Zustand eine Hochrechnung der Streckenbelastungen mit und ohne „Expo-Tage“ durchgeführt. Daraus wurde ersichtlich, dass durch die Berücksichtigung der „Expo-Tage“ (15.05.2002 bis 15.06.2002) die Streckenbelastungen für eine DWV auf dem Abschnitt Biel-Neuchatel-Yverdon um ca. 5% erhöht wurden. Damit reduziert sich die Fehlergrösse z.B. bei der SP Methode auf diesem Abschnitten auf 1.2% (Biel – Neuchatel) bzw. 0.7% (Neuchatel – Yvedon). Für andere Streckenabschnitte war eine solche Schätzung nicht möglich.

Tabelle 21 Abweichungen zwischen prognostizierten und erhobenen Streckenbelastungen auf einzelnen Streckenabschnitten im Rahmen des ICN-Korridors

DWV – Beide Richtungen	Erhebungen			Abweichungen gegenüber Zählungen 2001/2002 in %		
	Zählungen 1999/2001	Zählungen 2001/2002	Veränderung in %	SP - Methode	RP - Methode	EL - Methode
St.Gallen – Wil	17'315	17'398	0.5	3.8	0.7	2.8
Wil – Winterthur	19'253	18'898	-1.8	6.6	5.6	5.9
Winterthur – Effretikon	52'313	59'150	13.1	-5.1	-7.7	-6.4
Effretikon – ZH Flugh.	28'401	30'516	7.4	5.2	3.1	4.1
ZH Flughafen – Zürich	40'897	44'224	8.1	0.5	-2.5	-0.8
Killwangen – Lenzburg	44'850	51'532	14.9	-3.7	-5.9	-4.6
Rapperswil – Aarau	54'538	60'552	11.0	-3.9	-6.0	-4.8
Aarau – Olten	48'860	53'152	8.8	-1.5	-3.9	-2.5
Olten – Solothurn	12'670	15'338	21.1	12.1	10.5	15.8
Grenchen – Biel	14'488	18'012	24.3	2.5	1.6	5.0
Biel – Neuchatel	10'260	13'082	27.5	-3.8	-5.0	-1.4
Neuchatel – Yverdon	9'736	12'594	29.4	-4.3	-5.9	-1.9
Yverdon – Lausanne	11'613	13'900	19.7	1.2	-0.9	2.8
Lausanne – Geneve	29'960	31'170	4.0	0.0	-3.8	-1.9
Herzogenb. – Burgdorf	41'964	42'560	1.4	-2.4	-4.6	-4.4
Fribourg – Lausanne	15'716	13'756	-12.5	7.0	4.1	6.4
Bern – Fribourg	19'738	18'090	-8.3	6.8	6.1	7.4
Pratteln – Brugg	18'209	18'592	2.1	3.2	0.2	1.7
Baden – Brugg	33'022	33'294	0.8	-0.5	-3.0	-1.6
Sisach – Gelterkinden	24'164	26'862	11.2	-5.9	-6.2	-6.4

SP – Stated Preference, RP – Revealed Preference, EL - Elastizitäten

Im Strassenverkehr ist die Anzahl der Strecken mit Verkehrszählungen deutlich kleiner als im Schienenverkehr. Hier konnten für das Jahr 2001 nur die automatischen Strassenverkehrszählungen des ASTRA verwendet werden. Dementsprechend war auch die Genauigkeit des kalibrierten Strassenmodells kleiner als im Schienenverkehr.

Aus dem Vergleich der prognostizierten und erhobenen Streckenbelastungen im Strassenverkehr wurde folgende mittleren (absoluten) Abweichungen (mit Streckenbelastung gewichtet) gegenüber den erhobenen Streckenbelastungen berechnet:

- SP Methode 11,4 %
- RP Methode 11.5 %
- EI Methode 11.5 %.

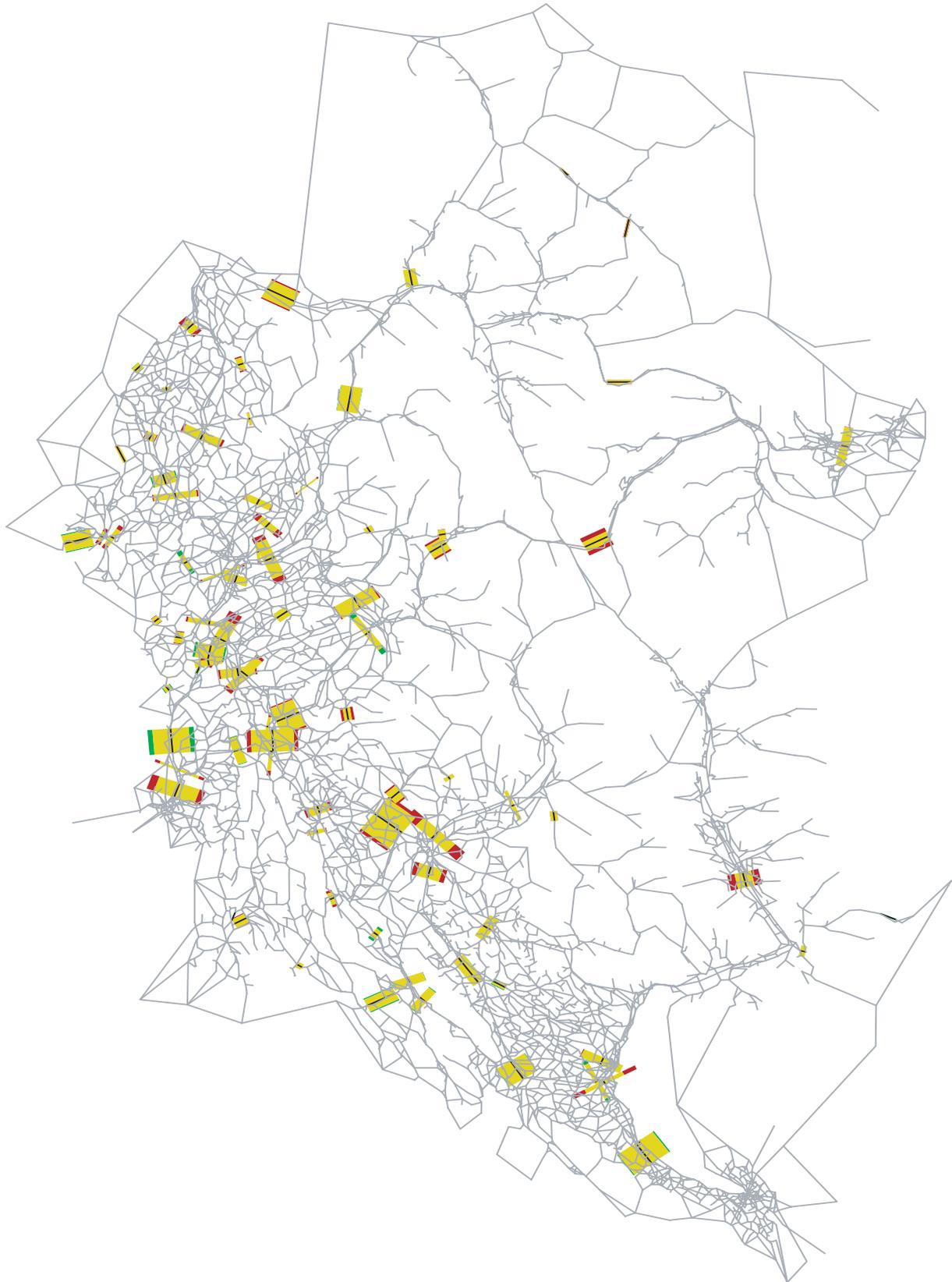
Dabei ist zu beachten, dass auch für die hier berechneten Abweichungen, die aus dem Vorherzustand vorhandenen Abweichungen zwischen den erhobenen und abgebildeten Streckenbelastungen (im Modell) wesentlich sind. Diese Abweichungen (absoluter und mit Streckenbelastungen gewichteter Mittelwert 11.6%) sind wegen der deutlich kleineren Anzahl der Zählstellen und ihrer Lage im Netz grösser als im Schienenverkehr. Bei einigen Zählstellen mit bedeutendem Anteil des intrazonalen Verkehrs wurden diese Differenzen bewusst nicht auf die Querschnittszählungen kalibriert. Die Differenzen zwischen prognostizierten und erhobenen Streckenbelastungen im Strassennetz (SP Methode) sind in Abbildung 12 dargestellt.

Abbildung 11 Differenz in der Netzbelastungen SP Methode – Zählungen 2001
[Schienenverkehr]



gelb = Grundbelastung, rot= mehr, grün= weniger

Abbildung 12 Differenz in der Netzbelastungen SP Methode – Zählungen 2001
[Strassenverkehr]



gelb = Grundbelastung, rot= mehr, grün= weniger

7 Vergleich der drei Prognosemethoden

Die drei betrachteten Prognosemethoden lassen sich durch folgende Kriterien beurteilen:

- Vollständigkeit der Erfassung des Verkehrsverhaltens
- Plausibilität der Modellparameter
- Plausibilität der berechneten Nachfrageveränderungen
- Abweichungen gegenüber der erhobenen Verkehrsnachfrage

Die Verkehrsteilnehmer treffen ihre Entscheidungen unter Berücksichtigung und Bewertung von zahlreichen Einflussfaktoren. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass auch bei der Schätzung der Verkehrsmittelwahl-Veränderungen alle relevanten Einflussfaktoren (Variablen) berücksichtigt und bewertet werden. Dies bezieht sich sowohl auf die im Prognose-Fall veränderten- als auch auf die nicht veränderten Variablen.

Bei den hier betrachteten Methoden ist eine vollständige Beschreibung des Verkehrsverhaltens bzw. eine Bewertung von allen Einflussfaktoren nur mit den Stated Preference-Befragungen möglich. Bei der RP-Methode können wegen den vorhandenen Korrelationen (z.B. zwischen Zeit und Preis) nicht alle Modellparameter geschätzt werden. Dadurch werden die geschätzten Modellparameter verzerrt. Die Anwendung von klassischen (direkten) Elastizitäten ist für die hier betrachteten Massnahmen mit Veränderung von mehreren (quantitative und qualitative) Angebotsvariablen und mehreren Verkehrsträgern nur eingeschränkt geeignet. Die Anwendung von Elastizitäten beschränkt sich auf einzelne und isolierte Massnahmen unter der Voraussetzung, dass die meisten anderen Einflussgrößen unverändert bleiben. Dabei muss beachtet werden, auf welcher Datengrundlage und mit welchen Methoden die Elastizitäten berechnet wurden.

Die aus den SP-Daten ermittelten Parameter zeigen aufgrund der bisherigen Analysen eine höhere Plausibilität und Akzeptanz. Bei den RP-Schätzungen konnten wegen vorhandener Korrelationen bei den unabhängigen Variablen nicht alle Parameter geschätzt werden. Dies bezieht sich vor allem auf die starke Korrelation zwischen der Zeit- und der Preis-Variable, so dass die Preisparameter nur aus den SP-Daten geschätzt wurden. Dadurch waren die aus RP-Daten geschätzten Modellparameter weniger plausibel. Die klassischen Elastizitäten (Vrtic et al., 2000) beschränken sich auf die Variablen Reisezeit, Preis und Intervall. Diese Elastizitäten stimmen weitgehend, sowohl mit den hier aus den SP- und RP-Daten ermittelten Elastizitäten, als auch mit den Untersuchungen in anderen Ländern, überein (siehe Vrtic et al., 2000).

Ein Vergleich der Verkehrsmittelwahl-Veränderungen im Schienen- und Strassenverkehr, die mit den hier betrachteten Methoden berechnet wurden, ist in Tabelle 22 und Tabelle 23 dargestellt. Dieser Vergleich zeigt, dass vor allem die SP-Methode auf Grundlage der betrachteten Angebotsmassnahmen eine Nachfrageveränderung in die erwartete Richtung ermittelt. Die Ergebnisse der RP-Methode sind vor allem auf die unplausiblen Modellparameter zurückzuführen. Es hat sich gezeigt, dass mit diesen Angebotsveränderungen eine solche Nachfragereaktion nicht erfolgt. Neben den zu verbessernden Modellparameter zeigte diese Methode auch einen Bedarf nach einer weiteren methodischen Verbesserung der Berechnung des Mittelwertes der Angebotsvariablen.

Dieser Nachteil (vor allem beim mittleren Intervall) zeigte sich bei der RP-Methode stärker ausgeprägt, ist aber bei den anderen zwei Methoden auch vorhanden. Damit wäre zu erwarten, dass mit einer methodischen Verbesserung bei der Berechnung der Angebotsvariablen die Nachfrageveränderungen in der Tabelle 22 höher würden. Bei der Anwendung von bisher vorhandenen klassischen Elastizitäten konnte das BS Modul mit gleichzeitigen Angebotsveränderungen im Strassen- und Schienenverkehr nicht berechnet werden. In solchen Fällen sollten die Nachfragerreaktionen unter Anwendung von Kreuzelastizitäten berechnet werden.

Tabelle 22 Methodenvergleich Verkehrsmittelwahl – Veränderung der Quell-Ziel-Matrix
[Anzahl Personen 1999 bis 2001]

Variante	SP-Parameter	RP-Parameter	Elastizitäten
		Bahnmatrix	
B1 (Einführung ICN)	3251	-561	3460
B2 (IR Basel-Geneve A.)	55	-212	328
B3 (IR Zürich-Biel)	550	-126	724
B4 (B1+B2+B3)	3513	-1'558	3170
B5 (Plateau)	756	-2'539	-856
B6 (alle Bahn Massnahmen)	3265	-6'211	832
BS (Bahn und Strasse)	2231	-7'668	Nicht möglich
		Strassenmatrix	
S1 (Strassenmassnahmen)	1'022	1'438	3133
BS (Bahn und Strasse)	-2'231	7'668	Nicht möglich

Die Analyse der Nachfrageveränderungen auf den Querschnitten zeigt, dass trotz der vorher erwähnten Nachteile der RP-Methode, die Auswirkungen des ICN auf einzelnen Abschnitten doch ermittelt werden können. Im Vergleich mit den anderen zwei Methoden sind diese Effekte jedoch deutlich kleiner. Der Nachfragerückgang im Schienenverkehr auf der Strecke

Zürich-Flughafen – Zürich – Olten bei dieser Methode, kann nicht als plausibel bezeichnet werden. Der gleiche Effekt ist bei der Anwendung von Elastizitäten auf dem Abschnitt Zürich Flughafen – Zürich festzustellen. Weiter sind bei der Querschnittsanalyse die Unterschiede zwischen den einzelnen Methoden deutlich grösser als beim vorherigen Matrixvergleich. Hier kommt die unterschiedliche Parametergrösse bei einzelnen Methoden in Abhängigkeit der Angebotsmassnahme stärker zum Ausdruck.

Tabelle 23 Methodenvergleich - Aus Verkehrsmittelwahländerungen resultierende absolute Veränderungen der Querschnittsbelastungen im Schienenverkehr

Variante BS (Bei Elastizitäten B6)	Veränderung (im Anzahl Fahrten)		
	SP-Parameter	RP-Parameter	Elastizitäten
St.Gallen – Wil	169	-362	9
Wil – Winterthur	321	188	237
Winterthur – Effretikon	1041	-554	209
Effretikon – ZH Flughafen	938	111	418
ZH Flughafen – Zürich	607	-915	-167
Killwangen – Lenzburg	940	-390	271
Rupperswil – Aarau	950	-376	342
Aarau – Olten	966	-384	372
Olten – Solothurn	1192	881	1679
Grenchen – Biel	708	481	1096
Biel – Neuchatel	272	130	606
Neuchatel – Yverdon	337	99	614
Yverdon – Lausanne	404	69	585
Lausanne – Geneve	-252	-1440	-859
Herzogenbuchsee – Burgdorf	-300	-1198	-1095
Fribourg – Lausanne	-321	-694	-369
Bern – Fribourg	-73	-163	81
Pratteln – Brugg	-176	-719	-437
Baden – Brugg	-242	-897	-445
Sisach – Gelterkinden	179	56	10

Entsprechend der betrachteten Angebotsveränderungen zeigt die SP-Methode auf den Strecken via Jurasüdfuss ein Nachfragewachstum und ein Nachfragerückgang auf den Strecken via Plateau.

Damit ist, für die hier betrachteten Massnahmen mit gleichzeitiger Veränderung mehrerer Einflussgrössen (Reisezeit, Intervall und Komfort) im Schienen- und Strassenverkehr, die Anwendung der RP-Methode (unplausible Modellparameter) und von klassischen Elastizitäten (bisher keine Kreuzelastizitäten und nicht einzelne isolierte Massnahmen) nicht plausibel. Dafür zeigte sich die Anwendung des Verkehrsmittelwahlmodells, mit den aus der SP-Datengrundlage geschätzten Modellparametern, als die am besten geeignete Methode.

Ein weiteres Kriterium für die Beurteilung der drei Prognosemethoden ist der Vergleich der Abweichungen gegenüber der erhobenen bzw. der kalibrierten Verkehrsnachfrage. Da die Abweichungen gegenüber der erhobenen Verkehrsnachfrage, die nicht durch Verkehrsmittelwahl Veränderungen verursacht werden in allen drei Methoden gleich sind, zeigt die Differenz in den Abweichungen die Güte der Verkehrsmittelwahlberechnungen der drei betrachteten Methoden. Wie im vorherigen Kapitel 6 zu sehen ist, sind bei allen durchgeführten Vergleichen zwischen prognostizierten und erhobenen Verkehrsnachfragen die Abweichungen bei der SP-Methode kleiner als bei den anderen zwei Methoden. Die zusätzlichen Abweichungen bei der Anwendung der RP-Methode und der klassischen Elastizitäten gegenüber der SP-Methode, sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 24 Zusätzliche Abweichungen im Vergleich mit SP-Methode [in %]

	RP - Methode	EL - Methode
Vergleich prognostizierte und kalibrierte Quell-Ziel Matrix		
Schienenverkehr	+1.33	+0.19
Strassenverkehr	+0.14	+0.08
Vergleich prognostizierte und erhobene Querschnittsbelastungen		
Schienenverkehr – gesamtes Netz	+0.50	+0.30
Schienenverkehr – ICN Korridor	+1.10	+0.70
Strassenverkehr – gesamtes Netz	+0.10	+0.10

Aus dem Vergleich der geschätzten Modellparameter und der berechneten Verkehrsmittelwahl-Veränderungen, hat sich schon gezeigt, dass durch die Anwendung der SP-Methode das Verkehrsverhalten vollständiger und plausibler beschrieben wird als mit den anderen zwei Methoden. Neben methodischen Vorteilen, zeigen die aus SP-Daten ermittelten Modellparameter und berechneten Verkehrsprognosen gegenüber den RP-Modellen eine höhere Plausibilität und Akzeptanz. Die Überprüfung der berechneten Verkehrsprognosen gegenüber der erhobenen Verkehrsnachfrage zeigte, dass die Abweichungen bei der SP-Methode kleiner sind als bei den anderen zwei Methoden.

8 Schlussfolgerungen

Das Hauptziel dieses Forschungsauftrages war, die Grenzen und Möglichkeiten der drei betrachteten Prognosemethoden mittels Vorher-/Nachher-Analyse zu verifizieren und aufzuzeigen. Dabei bietet diese Untersuchung gleichzeitig die Möglichkeit auch andere für die Verkehrsprognose wichtige Aspekte zu analysieren. Neben der Untersuchungsmethodik erwies sich hier vor allem die Qualität und Verfügbarkeit der vorhandenen Datengrundlagen für die Abbildung des Verkehrsgeschehens als entscheidend.

Der wesentliche Nutzen dieser Untersuchung kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Möglichkeiten und Grenzen, sowohl die Vorteile und Nachteile, der drei betrachteten Prognosemethoden wurden dargestellt.
- Die Methodische Grundlagen und Vorgehensweisen zur Erstellung von Verkehrsprognosen unter Anwendung von Netzmodellen wurden gelegt.
- Mit dieser Untersuchung wurden in der Schweiz zum ersten mal die Modelle der Routen- und Verkehrsmittelwahl aus einer SP-Datengrundlage geschätzt.

Die mit diesen Daten geschätzten Modellparameter sind die Grundlage für die Anwendung der Routen- und Verkehrsmittelwahl-Modelle bzw. für die Schätzung von Routen- und Verkehrsmittelwahl-Veränderungen infolge von Angebotsänderungen.

- Die geschätzten Modellparameter, die Zeitwerte und die relativen Bewertungen der Einflussgrößen haben die Bedeutung der einzelnen Variablen für die Verkehrsmittelwahl und Routenwahl aufgezeigt. Diese wurde fahrtzweckspezifisch ermittelt.
- Methodische Grundlage für die Anwendung der SP-Methode bei der Schätzung von Entscheidungsmodellen (hier Routen- und Verkehrsmittelwahl) wurden dargestellt.
- Durch die Verifizierung der Verkehrsprognosen wurde gezeigt, wie und wo weitere Verbesserungen im Bezug auf die Datengrundlage als auch Methodik noch möglich bzw. nötig sind.
- Möglichkeiten und methodische Grundlage für die gemeinsame Schätzung der Modellparameter aus RP- und SP Daten wurden dargestellt.

- Die nationalen Strassen- und Schienen Personenverkehrsmodell (inkl. fahrtzweckspezifische Quell-Ziel-Matrix im Schienenpersonenverkehr) für das Jahr 1999 und 2001 wurden weiterentwickelt und kalibriert.

Weiter lassen sich aus dieser Untersuchung folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Mit der vorhandenen Datengrundlage und den angewendeten Werkzeugen könnten die Verkehrszustände im Vorher- und Nachher Zustand mit den gezählten Querschnittsbelastungen abgebildet werden. Trotz der durchgeführten Verbesserungen ist die Struktur der Quell-Ziel-Matrix im Strassenverkehr auf den Grundlagen der vorhandenen Erhebungsdaten weiter unbekannt. Die aus dem Mikrozensus-Verkehr und der KEP-Befragung verfügbare Stichprobe reicht für die hier betrachtete Zonierung und Netzdichte nicht aus, um eine Matrix direkt zu bestimmen. Auf Grundlage der Analyse der hochgerechneten Quell-Ziel-Matrix im Schienenverkehr (ohne Kalibration auf die Querschnittszählungen) im Vorher- und Nachher Zustand wird vermutet, dass bei der Hochrechnungsmethodik und der Erstellung eines Erhebungskonzept (zeitliche und räumliche Abgrenzungen) noch Verbesserungen möglich sind. Hier ist eine Überprüfung und eventuelle Anpassung zu empfehlen.
- Mit den vorhandenen Erhebungsdaten konnte eine verlässliche Überprüfung der Verkehrsmittelwahl-Veränderungen für einzelne Quell-Ziel-Beziehungen aus verschiedenen Gründen nicht durchgeführt werden. Die nicht mögliche Trennung der verschiedenen Effekte in den erhobenen Nachfragedaten, welche durch die soziodemografische und wirtschaftliche Entwicklung respektive durch Angebotsveränderungen verursacht wurde ist dabei ein wesentliches Hindernis.
- Damit lassen sich mit der heute vorhandenen Datenbasis vor allem die Verkehrsprognosen der Querschnittsbelastungen und die gesamte Nachfrageveränderung verlässlich überprüfen. Dabei ist es wichtig, dass bei den Verkehrsprognosen die Abweichungen im Ist-Zustand zwischen den erhobenen und den mit dem Verkehrsmodell abgebildeten Streckenbelastungen berücksichtigt werden.
- Durch die Stated-Preference-Befragung konnten bei den Verkehrsprognosen sowohl quantitative als auch qualitative (z.B. Komfort) Angebotsveränderungen berücksichtigt werden. Die geschätzten Modellparameter, die Zeitwerte und die relativen Bewertungen der Einflussgrößen haben die Bedeutung der einzelnen Variablen für die Verkehrsmittelwahl und Routenwahl aufgezeigt.
- Für die hier betrachteten Angebotsveränderungen hat sich die Anwendung der RP Methode und der klassischen Elastizitäten als weniger plausibel gezeigt

- Wegen den vorhandenen Korrelationen zwischen den unabhängigen Variablen war es nicht möglich aus den revealed preference-Daten (KEP), alle Modellparameter zu schätzen. Dies bezieht sich vor allem auf die starke Korrelation zwischen Zeit und Preis, so dass die Preisparameter nur aus den SP Daten geschätzt wurden. Bei einigen anderen RP Variablen waren die geschätzten Modellparameter nicht plausibel.
- Mit Anwendung der klassischen Elastizitäten lassen sich die Auswirkungen von mehreren Einflussfaktoren (z.B. Reisezeit und Intervall) nicht vollständig prognostizieren. Dafür sind die vorhandenen Nachfrageelastizitäten aus verschiedenen Gründen nicht geeignet (siehe Vrtic et al., 2000). Weiter ist die Anwendung von direkten Elastizitäten (ohne Kreuzelastizitäten) bei gleichzeitigen Strassen- und Schienen Massnahmen nicht plausibel.
- Wie erwartet zeigen die aus SP Daten ermittelten Modellparameter gegenüber den RP Modellen bzw. klassischen Elastizitäten eine höhere Plausibilität und Akzeptanz. Von den Angebotsvariablen sind die Zugangszeiten und die Fahrzeiten die zwei für die Verkehrsmittelwahl bzw. Routenwahl im Mittel wichtigsten Variablen. Die PW-Verfügbarkeit und der Abonnementbesitz beeinflussen die Verkehrsmittelwahl stark.
- Bei dem Vergleich der ermittelten Verkehrsprognosen mit der erhobenen Verkehrsnachfrage zeigten sich die Stated Preference Parameter als die am besten geeigneten. Aus dem Vergleich der prognostizierten mit der erhobenen Verkehrsnachfrage auf allen betrachteten Ebenen (Querschnittsbelastungen, gesamte Nachfrageveränderungen und einzelnen Quell-Ziel-Betrachtungen) war die berechnete Abweichung bei diesem Parametersatz kleiner als bei den anderen zwei. Da durch die betrachteten Angebotsveränderungen relativ kleine Verkehrsmittelwahl-Veränderungen (in %) stattgefunden haben, sind dementsprechend die Unterschiede in den berechneten Fehlergrössen (in %) zwischen diesen drei Methoden auch relativ klein.

9 Empfehlungen und Weiterentwicklungen

Die Auswirkungen von Angebotsveränderungen auf die Verkehrsnachfrage werden vor allem durch das bestehende Verkehrsangebot respektive die Massnahmengrösse und die räumliche Verteilung der Verkehrsnachfrage bestimmt. Dementsprechend ist für die Nachfrageberechnungen und Verkehrsprognosen eine genaue, realitätsentsprechende Abbildung von Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage im betrachteten Untersuchungsgebiet eine wesentliche Voraussetzung. Eine weitere und genauso wichtige Komponente ist die Berücksichtigung der Wirkungszusammenhänge (Gesetzmässigkeiten) zwischen der Verkehrsnachfrage und nachfragebeeinflussenden Faktoren. Alle drei Komponenten bzw. ihre Grundlagen können nur aus Erhebungen und Messungen abgeleitet werden.

Damit ist eine kontinuierliche und vollständige Erfassung des Verkehrsverhaltens eine wichtige Voraussetzung für die verlässliche Schätzung von Verkehrsnachfrage und Verkehrsprognosen. Dies ist sowohl für die realitätsentsprechende Abbildung der Verkehrsangebote (Leistungsfähigkeit, Geschwindigkeitfunktionen etc.) und Verkehrsnachfrage (Quell-Ziel-Matrix, Querschnittszählungen,...) sowie für die Schätzung von Gesetzmässigkeiten der Verkehrsnachfrage bzw. Modellparameter wichtig (für verschiedene Modellschritte wie Verkehrsmittelwahl, Routenwahl, Zielwahl oder Nachfragesegmente). Die räumliche Übertragbarkeit von Gesetzmässigkeiten bzw. Modellparameter muss grundsätzlich für jede einzelne Fragestellung und für jedes Untersuchungsgebiet überprüft werden. Wichtig ist dabei, dass das Verhalten der Verkehrsteilnehmer vollständig erfasst wird.

In dieser Untersuchung hat sich noch einmal bestätigt, dass für die Abbildung der Nachfragepotenziale und Nachfrageveränderungen die realitätsentsprechende Quell-Ziel-Matrix eine der entscheidenden Grundlagen ist. Da für grössere Untersuchungsgebiete eine vollständige Quell-Ziel-Matrix nicht erhoben werden kann, müssen kleinere Stichproben-Erhebungen, mit Modellmatrizen, Querschnittszählungen und geeigneten Hochrechnungs- und Kalibrationsmethoden kombiniert werden.

Um das Verkehrsgeschehen mit allen drei vorher erwähnten Komponenten abbilden zu können und die Auswirkungen von Angebotsveränderungen zu schätzen, ist die Erstellung von Netzmodellen eine entscheidende Grundlage. Neben der Berechnungen von Routenwahlveränderungen sind diese Modelle eine wesentliche Grundlage für die Berechnung von anderen Nachfragereaktionen, wie Verkehrsmittelwahl oder Zielwahl.

Neben den vorher beschriebenen Schlussfolgerungen lassen sich für die Schätzung von Nachfrageveränderungen und Verkehrsprognosen noch folgende Empfehlungen ableiten:

- Durch die Verwendung der Stated Preference Parameter wird die Verlässlichkeit und Plausibilität von Verkehrsprognosen höher als bei Anwendung der Revealed Preference Parameter oder der klassischen Elastizitäten. Damit ist für die Schätzung von Nachfrageveränderungen und Verkehrsprognosen im Strassen- und Schienenpersonenverkehr die Anwendung der Stated Preference Parameter zu empfehlen.
- Nach Weiterentwicklung und Verbesserung der nationalen Modelle können mit den hier geschätzten SP Modellparameter und für die hier berücksichtigten Angebotsvariablen die Auswirkungen von Angebotsveränderungen auf die Routen- und Verkehrsmittelwahl berechnet werden. Dabei beschränkt sich die Gültigkeit dieser Parameter auf die Schweiz und vor allem auf den Fern- und Regionalverkehr (Wege mit einer Reiseweite über 10 km). Die hier durchgeführte SP Befragung hat die gleiche Stichprobenstruktur wie die KEP Befragung. Für kleinräumige Untersuchungen mit anderen soziodemographischen, räumlichen- und verkehrlichen Charakteristiken sowie für die Agglomerationen ist die hier erhobene SP Stichprobe nicht repräsentativ. Dafür müsste eine zusätzliche Stated Preference Befragung durchgeführt werden. Eine allgemeine Aufwandsabschätzung für Stated Preference Untersuchungen ist schwierig, da jede einzelne Untersuchung anders strukturiert ist und da die Schwierigkeiten einer Untersuchung stark schwanken können.

Damit sollte für jede konkrete Fragestellung überprüft werden, ob die hier betrachtete SP Stichprobe und damit auch die Modellparameter angemessen sind.

- Bei bestimmten Fragestellungen wie z.B. hypothetischen Situationen oder neuen Verkehrssystemen (Swissmetro) könnte eine gemeinsame Stated Preference und Revealed Preference Schätzung für die Verkehrsprognosen besser geeignet sein. Dafür können, wie in dieser Untersuchung, gemeinsame SP/RP Modelle geschätzt werden.
- Die Anwendung von Revealed Preference Parametern oder klassischen Elastizitäten ist vor allem bei einzelnen und isolierten Massnahmen für eine erste und grobe Schätzung von Nachfrageauswirkungen zu empfehlen. Die Anwendung von RP

Modellen ist nur bei einer Massnahme mit Veränderung der im Modell berücksichtigten Einflussfaktoren möglich. Wegen Korrelationen müssen bestimmte Variablen ausgeschlossen werden. Dabei ist es wichtig, dass diese Variablen bei den betrachteten Massnahmen unverändert bleiben. Trotzdem muss man sich bewusst sein, dass durch Nichtberücksichtigung einer Variable im Modell die Bedeutung der anderen Variablen bzw. der Modellparameter dadurch verzerrt werden können. Damit ist die Anwendung dieser Methode sinnvoll, wenn aus finanziellen oder anderen Gründen die Durchführung einer SP Befragung nicht möglich ist, oder eine geeignete RP Datengrundlage schon vorhanden sind. Dabei sollen die im Kapitel 5.2 (RP Modellschätzung) erwähnten Beschränkungen berücksichtigt werden.

- Die Anwendung von Elastizitäten beschränkt sich auf einzelne und isolierte Massnahmen unter der Voraussetzung, dass andere Einflussgrössen unverändert bleiben. Die Wirkungen mehrerer Massnahmen sind nicht identisch mit der Summe der Wirkungen der Einzelmassnahmen. Dabei sollten die Nachfrageelastizitäten grundsätzlich überprüft und in Abhängigkeit von betrachteten Massnahmen auf ihre Anwendbarkeit analysiert werden (siehe auch Vrtic et al., 2000). Bei den einzelnen Massnahmen im Fern- und Regionalverkehr, bei denen in erster Linie ein Verkehrsmittelwahlmodell nicht angewendet werden kann, ist es zu empfehlen (für erste und grobe Schätzungen) die aus den hier durchgeführten Stated Preference und KEP Befragung ermittelten direkten- bzw. Kreuz-Elastizitäten zu verwenden. Diese Elastizitäten sind für mehrere Variablen und nach Fahrzwecken differenziert berechnet.

Dabei beschränkt sich der Gültigkeitsbereich dieser Elastizitäten auf die betrachtete SP-Stichprobe d.h. vor allem auf den Schweizerischen Fern- und Regionalverkehr und für die Quell-Ziel-Beziehungen mit einer Reiseweite von über 10 km. Die Elastizitäten werden aus den Modellparameter, dem Mittelwert der Variable und den mittleren Verkehrsmittelwahl-Anteilen berechnet. Damit sollte es bewusst sein, dass diese Elastizitäten für den Mittelwert der betrachteten Stichprobe berechnet wurden. Für ein Untersuchungsgebiet mit einem anderem Mittelwert der Variable oder anderen Verkehrsmittelwahl-Anteilen würden sich auch andere Elastizitätenwerte berechnen lassen. Wichtig ist auch, dass bei der Anwendung von Elastizitäten als Grundlage ein netzbezogenes Verkehrsmodell verwendet wird.

Im Bezug auf die nationalen Strassen- und Schienen-Netzmodelle sind vor allem weitere Untersuchungen für die Erzeugung von Quell-Ziel-Matrizen vorzunehmen:

- Für den Schienenverkehr wäre ein neues Erhebungskonzept sinnvoll. Dies bezieht sich sowohl auf die Quell-Ziel-Befragungen als auch auf die Querschnittszählungen. Zusätzlich ist eine Überprüfung und evtl. Erstellung eines neuen Hochrechnungsverfahrens (auf Basis eines Umlegungsverfahrens) sehr zu empfehlen. Weiter wäre eine vollständige Einbindung der Verkehrsangebote und der Verkehrsnachfrage anderer Verkehrsunternehmen (Privatbahnen und regionale Busbetriebe) für viele Fragestellungen sehr wichtig.
- Im Strassenverkehr ist die vorhandene Quell-Ziel-Matrix aus dem Jahr 1995 veraltet und ihre Struktur nicht entsprechend überprüft. Hier sollte auf Grundlage der neusten Erhebungen (Mikrozensus 2000 und Volkszählungen, SBB Erhebungen, usw.) eine neue Ausgangsmatrix erzeugt werden. In Abhängigkeit von der vorhandenen Datengrundlage wäre dann zu überprüfen, ob weitere Erhebungen durchgeführt werden sollen. Darauf basierend (und unter Berücksichtigung der Quell-Ziel-Matrix im Schienenverkehr) wäre eine geeignete Methode für die Erzeugung von fahrtzweckspezifischen Quell-Ziel-Matrizen zu wählen.
- Zusätzlich wäre es auch sinnvoll, ein neues Konzept für die Strassenverkehrszählungen zu erstellen (Anpassung an die vorhandene Netzdichte und Zonierung im Strassenmodell). Für die nationalen Modelle sind die vorhandenen Zählstellen der automatischen Strassenverkehrs-Zählungen nicht optimal gewählt. Einige vorhandene Zählstellen (vor allem kantonale Verkehrszähler) beinhalten einen deutlichen Anteil (für die bestehende Zonierung) an intrazonalem Verkehr, was bei der Modellkalibration berücksichtigt werden sollte.
- Für die Berechnung der Verkehrsmittelwahl-Veränderungen sollten die bestehenden Zuordnungen zwischen den Zonen im Strassen- und Schienenverkehr (auf eine gemeinsame Zonierung) aktualisiert bzw. überarbeitet werden.
- Die Berechnung der mittleren Kenngrößen aus einem fahrplanfeinen Umlegungsmodell als Eingangsgröße für das Verkehrsmittelwahl-Modell, ist in der bestehenden Verkehrsplanungssoftware noch nicht optimal gelöst. Eine bessere Lösung wird mit dem Software Hersteller noch gesucht.

- Eine weitere Entwicklungsaufgabe beim Schienen- als auch beim Strassenverkehr ist die modellmässige Berücksichtigung der zeitlichen Dynamik der Verkehrsnachfrage (siehe Vrtic und Axhausen, 2003a), die bei vielen Angebotsveränderungen einen wesentlichen Einfluss auf die Nachfragereaktion haben kann.
- Darüber hinaus sollte auf Grundlage der vorhandenen Zonierung im Personenverkehr ein Güterverkehrsmodell erstellt werden.

Die in dieser Untersuchung ermittelten methodischen und quantitativen Ergebnisse können für ähnliche verkehrsplanerische Fragestellungen als Grundlage weiter empfohlen werden. Die gegebenen Empfehlungen, die Methodik und die geschätzten Routen- und Verkehrsmittelwahl-Modelle stellen dafür eine wesentliche Grundlagen dar. Dabei sollten in Abhängigkeit von konkreten Fragestellungen sowohl die Methodik als auch die Ergebnisse und Datengrundlage angemessen überprüft werden. Dafür sind auch die vorher beschriebenen Weiterentwicklungen und Verbesserungen zu berücksichtigen.

10 Literatur

- Abay, G. and K.W. Axhausen (2001) Zeitkostenansätze im Personenverkehr: Vorstudie, *SVI Forschungsberichte*, **42/00**, Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI), Zürich.
- Axhausen K.W. (1999) Nachfragemodelle für den ÖPNV auf der Grundlage von RP und SP-Daten, *Heureka '99*, 59-71, FGSV, Köln.
- Axhausen, K.W. and G. Sammer (2001) stated responses: Überblick, Grenzen, Möglichkeiten, *Internationales Verkehrswesen*, **53** (6) 274-278.
- Axhausen, K.W., T. Haupt, B. Fell and U. Heidl (2001) How much of a rail bonus is there ? *Urban Transport International*, **34** (3-4) 14-16.
- Ben-Akiva, M.E. und S.R. Lerman (1985) *Discrete Choice Analysis*, MIT Press, Cambridge.
- Ben-Akiva, M.E. und T. Morikawa (1990) Estimation of switching models from revealed preferences and stated intentions, *Transportation Research*, **24A** (6) 485-495.
- Brilon W., M. Grossmann und H. Blanke (1993) Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Strasse, Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Strassenbau, Bonn-Bad Godesberg
- Econometric Software (1998) LIMDEP 7.0, Econometric Software, Sydney.
- Carrasco, J.A. und J.D. Ortuzar (2001) A review and assessment of the Nested Logit Model, *80th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Januar 2001.
- Central Transportation Planning (1997), *Transfer penalties in Urban Mode Choice Modeling*. Travel Model Improvement program, US Department of Transportation and US Environmental Protection Agency
- De Palma A. and D. Rochat (2000) Mode choice for trips to work in Geneva: an empirical analysis, *Journal of Transport Geography*, **8** (1) 43-51.
- FGSV (1995) Hinweise zur Messung von Präferenzstrukturen mit Methoden der Stated Preferences, FGSV, Köln
- Fusseis / Sigmaphan (1998), Grundlagenuntersuchung zu Bahn 2000, Bericht an die SBB und den Dienst GVF, Bern.
- Friedrich M., I. Hofsäss und S. Wekeck (2001) Timetable-based transit assignment, *80th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Januar 2001.
- Hague Consulting Group, ARPA, Heusch/Boesefeldt, STRATEC und University of Cergy-Pontoise (1999) TRACE, Cost of private road travel and their effects on demand, including short and long term elasticities, European Commission, Brussel.
- Hensher, D.A. (2001) The sensitivity of the valuation of travel time savings to the specification of unobserved effects, *Transportation Research*, **37E** (2) 129-142.
- Hoogendoor-Lanser S. und S.P. Hoogenroorn (2001) Public transport trip-chain time-attribute analysis and its implications, *80th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., January 2001.

- Koppelman, F.S. und C-H. Wen (2000) The paired combinatorial logit model: Properties, estimation and application, *Transportation Research*, **34B** (2) 75-89.
- Nielsen O.A. und O. Jovicic (1999) A large scale stochastic timetable-based transit assignment model for route und sub-mode choices, 27th European Transport Forum, Cambridge, September 1999.
- Maggi R. und F. Rossera (2003) Varianzanalyse und Nachfragewachstum, Zusatzbericht zu Verifizierung von Prognosemethoden im Personenverkehr, im Auftrag der SBB und dem Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Lugano.
- Maier G. und P. Weiss (1989) *Modelle diskreter Entscheidungen*, Springer-Verlag, Wien
- McFadden, D. (1978) Modeling the choice of residential location, in A. Karlqvist et al. (Hrsg.), *Spatial Interaction Theory and Residential Location*, 75-272, North Holland, Amsterdam.
- Mott P. und K. Nökel (1999) Fortschreibung von Nachfragematrizen: Ein neues Verfahren und seine praktische Erprobung, *Heureka '99*, 59-71, FGSV, Köln.
- Neusser, K. (1998) Nachfrageelastizitäten des Personenverkehr der Bahnen. Ein ökonometrisches Prognosemodell, Bericht an die SBB, Bern
- PTV (1999) Benutzerhandbuch VISUM (06.12.99) Version 7.00, PTV AG, Karlsruhe
- Schweizerischen Bundesbahnen (2001) Kontinuierliche Erhebung Personenverkehr (KEP), SBB, Bern.
- Schweizerischen Bundesbahnen (2000) Nachfrage Schienenpersonenverkehr 1999/2000; Erzeugung einer optimierten O/D-Matrix basierend auf den FQ-Erhebungen, Bern.
- Vrtic, M. (2001) Dynamische Umlegung des Strassenverkehrs, IVT Seminar, ETH Zürich, Dezember 2001.
- Vrtic, M. und K.W. Axhausen (2000) Modelle der Verkehrsmittelwahl: Regionale Wege in der Schweiz, *Stadt Region Land*, **69**, 193-204.
- Vrtic M. und K.W. Axhausen (2002) Modelle der Verkehrsmittelwahl aus RP- und SP Datengrundlage, *Heureka '02*, 293-309, Köln.
- Vrtic, M. und K.W. Axhausen (2003a) Experiment mit einem dynamischen Umlegungsverfahren, *Strassenverkehrstechnik*, 54 (3).
- Vrtic, M. und K.W. Axhausen (2003b) The impact of tilting trains in Switzerland: A route choice model of regional- and long distance public transport trips, Vortrag, 83th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., Januar 2003.
- Vrtic, M., K.W. Axhausen, R. Koblo und M. Vödich (2000) Entwicklung eines bimodalen Personenverkehrsmodells als Grundlage für Bahn 2000, 2.Etappe, Auftrag 2 - Herleitung einer Modal-Split Funktion, Bericht an die SBB und den Dienst für Gesamtverkehrsfragen, IVT, ETH Zürich und Prognos AG, Zürich und Basel.
- Vrtic, M., R. Koblo, und M. Vödich (1999) Entwicklung bimodales Personenverkehrsmodell als Grundlage für Bahn2000, 2. Etappe, Auftrag 1, Bericht an die SBB und den Dienst für Gesamtverkehrsfragen, Prognos AG, Basel.
- Vrtic, M., O. Meyer-Rühle, S. Rommerskirchen, P. Cervenka und W. Stobbe (2000), Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr, Bericht an die Vereinigung der Schweizerische Verkehrsingenieure, Prognos AG, Basel.
- Williams, H.C.W.L. (1977) On the formation of travel demand models and economic evaluation measure of user benefit, *Environment and Planning A*, **9** (2) 285-344.